



# EFRS2022

8

INTERNATIONAL IRON & STEEL SYMPOSIUM  
ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU

26-27 MAY 2022

Tepekule Convention and Exhibition Centre  
Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi

ZMİR

SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK  
SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI


New Horizons ...

Yeni Ufuklar ...



 METEM

UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER  
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ

 [www.efrs-mtm.com](http://www.efrs-mtm.com)

 [efrs@efrs-mtm.com](mailto:efrs@efrs-mtm.com)



Efrs2022



INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
IRON & STEEL



INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
IRON & STEEL

# EFRS2022 İZMİR

8 INTERNATIONAL IRON & STEEL SYMPOSIUM  
ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU  
26-27 MAY 2022 - İZMİR



@2022 by  
UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS'S  
TRAINING CENTER

*This book is included the papers in the symposium program and the full text is sent.*

*Any opinion(s), idea(s), scientific claim(s) and quotations, technical designs, tables and figures  
in this book are those of the author(s) of that particular paper and neither editors nor  
UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers's Training Center  
may held responsible for those.*

@2022  
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI  
EĞİTİM MERKEZİ

*Sempozyum Programı kapsamında olup tam metinleri gelen bildirimler bu kitapta yer almaktadır.*

*Bildirimler kitabında yer alan her türlü görüş, fikir, bilimsel sav ve alıntılar, teknik tasarım,  
tablo ve şekiller bildiri yazar/yazarlarına aittir ve bunlardan ötürü gerek editörler gerekse  
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi sorumlu tutulamaz.*

# EFRS2022

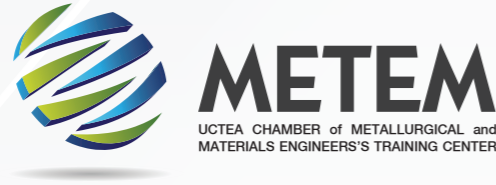
New Horizons ...

Yeni Ufuklar ...



## SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI

8 INTERNATIONAL IRON & STEEL SYMPOSIUM  
ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU  
26-27 MAY 2022 - İZMİR



### UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIAL ENGINEERS'S TRAINING CENTER

METEM (TMMOB Chamber of Metallurgical and Materials Engineers Training Center) gathers whole sector and cooperate for sustainable development and transformation of the sector. Also, it combines the qualified knowledge of industry, university and colleagues;

- Aims to be integrated to the world, with national and international symposiums, congresses, conferences, seminars,
- Provides highly qualified trainings and consultancy with scientific, technical and practical approach,
- Support sectoral and social developments with own projects,
- Acts as an powerful and active center by providing information, new aspects, relationships, and cooperation to create new opportunities.

METEM organizes many activities in order to reach the increasing knowledge accumulation, to share the experiences and to evaluate them in production processes.

Many such as the EFRS International Iron and Steel Symposium, IMMC International Metallurgy and Materials Congress, International Steel Rolling Symposium, ALUS International Aluminum Symposium, ISS International Steel Symposium: Change & Transformation, BHTS Boğaziçi International Heat Treatment Symposium, congresses, conferences and symposium organization carries out.

In addition, it provides in-house training and consultancy services open to general participation. Engineers, scientists, researchers and production managers; in order to review and discuss new challenges, recent developments and issues.

For that purpose, by bringing together highly qualified and experienced experts from the university and industry, we are able to; technical, managerial and engineering knowledge to refresh, making business development related to the sector's problems, occupational health and safety in problem solving, quality and to increase awareness and thus aim to provide value-added training and events planning, engages.

METEM also demonstrates "researches of Turkish metallurgy industry and universities" to the world, by organizing "international congresses, conferences and symposiums".

METEM is at the service of our sector with its trust, diligence, beliefs and values for improvement.



### TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ

METEM (TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi) tüm sektörü bir araya getirerek sektörün gelişimi ve dönüşümü için çalışmaktadır. Sanayi, üniversite ve meslektaşlarının nitelikli birikimlerini birleştiren METEM;

- Geliştirdiği ve planladığı tüm ulusal ve uluslararası sempozyum, kongre, konferans, seminer gibi organizasyonlarıyla dünyaya entegre olabilmek üzere çalışan,
- Bilimsel, teknik ve uygulamaya yönelik nitelikli eğitim ve danışmanlık hizmetleri veren,
- Sektörel ve toplumsal gelişimi planladığı projelerle destekleyen,
- Bilgi, yeni açılımlar, ilişkiler, fırsatlar yaratma konusunda işbirlikleri sağlama üzerinden hareket eden güçlü bir etkinlik merkezidir.

Artan bilgi birikimine hızla ulaşmak, edinilen deneyimleri paylaşmak ve bunları üretim süreçlerinde değerlendirmek üzere, METEM bünyesinde birçok etkinlik düzenlenmektedir.

EFRS Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, IMMC Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, ISRS Uluslararası Hadde Sempozyumu, ALUS Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, ISS Uluslararası Çelik Sempozyumu: Değişim & Dönüşüm, BHTS Boğaziçi Uluslararası Isıl İşlem Sempozyumu gibi birçok; kongre, konferans ve sempozyum organizasyonları gerçekleştirmektedir.

Bunun yanı sıra genel katılıma açık, şirketçi eğitimler ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Mühendislere, bilim adamlarına, araştırmacılara ve üretim yöneticilerine; alanlarında yeni zorlukları, son gelişmeleri ve ortaya çıkan konuları gözden geçirip tartışabilecekleri ortamlar hazırlamaktadır.

Yine bu amaçla, üniversite ve sanayide yer alan, yüksek bilgi ve deneyime sahip uzmanları bir araya getirerek, sektöre ve sektör çalışanlarına yönelik; teknik, yönetsel ve mühendislik bilgilerini tazelemeyi, sektörün sorunlarına ilişkin iş geliştirmeler yapmayı, çalışan sağlığı ve güvenliğinde sorun çözmeyi, nitelik ve farkındalık kazandırmayı ve böylece katma değer sağlamayı hedefleyen, eğitimler ve etkinlikler planlayıp yürütmektedir.

METEM gerçekleştirdiği uluslararası etkinlikler ile Türkiye metalurji sektörünün ve akademik araştırmalarının dünyaya tanıtılmasına katkı sağlamaktadır.

METEM, güven, çalışkanlık, iyiye ve değişime olan inanç ve değerleriyle sektörümüzün hizmetindedir.



## ORGANIZATION COMMITTEE YÜRÜTME KURULU

# EFRS2022

## Organization Committee Yürütme Kurulu



**N. İZZET ULU**  
(METEM)  
Chairman/Başkan



**Tamer BIÇAKLI**  
(MMMO)



**Andaç BİRİŞÇİ**  
(CARES)



**Mehmet BORAN**  
(HABAŞ DÇ)



**Deniz ÇATAN**  
(PRIMETALS TECHNOLOGIES)



**Hasan H. ERDOĞAN**  
(KÜMAŞ)



**Gürsel HIZIR**  
(ASİL ÇELİK)



**Fatih KESEROĞLU**  
(EKİNCİLER DÇ)



**Sabri KILIÇ**  
(ERDEMİR MÜHENDİSLİK)



**Özgür ÖZSOY**  
(ÇOLAKOĞLU)



**Nedim SAVAŞ**  
(KAPTAN DÇ)



**Ayhan TUĞRUL**  
(CARES)



**Ahmet İ. TURAN,**  
(TOSYALI Yassı Yapısal Çelik)



**Bülent YILDIRIM**  
(DILER DÇ)



UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER  
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ



[www.efrs-mtm.com](http://www.efrs-mtm.com)



[efrs@efrs-mtm.com](mailto:efrs@efrs-mtm.com)



Efrs2022

**EFRS2022** İZMİR



**SPONSORS**  
SPONSORLAR

### Supporting Iron & Steel Manufacturers Destekleyen Demir ve Çelik Üreticileri

### Gala Dinner Sponsor / Gala Yemeği Sponsoru


---

### Platinum Sponsors / Platin Sponsorlar

### Coffee Break Sponsor / Coffee Break Sponsoru


---

## Silver Sponsors / Gümüş Sponsorlar

## Silver Sponsors / Gümüş Sponsorlar





## SYMPOSIUM EXHIBITION PARTICIPANTS

SEMPOZYUM STAND KATILIMCILARI

FİRMA ADI	STAND NO
AB INDUSTRIALS	GA-01
AKM METALURJİ	GA-16
ANADOLU MÜHENDİSLİK	İA-08
ARC SU ARITMA	GA-20
ARKUN METALURJİ	GA-02
ATN DEMİR ÇELİK	GA-19
AVEKS	GB-02
AYDINLAR REFRAKTER	İA-14
BAŞTUĞ METALURJİ	GB-03
BCS MÜHENDİSLİK	İA-13
BELGİN MADENİ YAĞLAR	İA-17
BİRİM MAKİNA	İA-09
CASTROL	GB-04
CEFIP	İA-11
DEMORA	GA-15
EFES METALURJİ	İA-04
FERROSER	GA-10
FOCUS ENDÜSTRİ	İA-03
GÜNEYATEŞ REFRAKTER	GA-07
HAKAN HİDROLİK	İB-05
HAZNEDAR	GA-13
HERAEUS ELECTRO-NITE	GB-06
INDUCTOTHERM	GB-05
KASTAŞ	İA-06
KILTAŞ	GB-01

FİRMA ADI	STAND NO
KÜMAŞ	A-03
LAPİN DIŞ TİCARET	İA-12
LINDEMANN GERMANY	İB-06
MAK DEMİR ÇELİK	İA-01
METALFORM	GA-06
MET. VE MALZ. MÜH. ODASI	GA-12
METSER - TÜRKBAKIR	GA-05
PETROFER	İB-03
PETROL OFİSİ	GA-17
PIROMET	GA-04
PRIMETALS TECHNOLOGIES	A-01
PROTON OTOMASYON	İA-16
QUAKER HOUGHTON	İA-02
REPAMET	İB-02
RHI MAGNESİTA	A-03
SAĞLAM METAL	İA-07
SHELL	GA-14
SHOWA DENKO	İA-10
SİDERKEMCO	GA-18
SOM METALURJİ	GA-03
TOSYALI HARSCO	GA-09
TOTAL ENERGİES	GA-08
ÜNLÜ TEKNİK	GA-11
WEERULIN	İA-05

EFRS2022 KIZMIR



**SYMPOSIUM PROGRAMME**  
SEMPOZYUM PROGRAMI

26 May Thursday // 26 Mayıs Perşembe	
TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>ORHAN ÖZKAN</b>
09:00	<b>Registration // Kayıt</b>
09:30 - 10:00	<b>Opening Ceremony // Açılış Konuşmaları</b>  <b>İrfan TÜRKKOLU</b> UCTEA MME Executive Board , Chair TMMOB MMMO Yönetim Kurulu Başkanı  <b>Ata ÖZDEMİRLER</b> METEM Executive Board , Chair METEM Yürütme Kurulu Başkanı  <b>N. İzzet ULU</b> <b>Chairman of the Symposium Executive Committee</b> Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı
10:00 - 10:50	<b>Plaque Ceremony // Plaket Töreni</b>
10:50 - 11:00	<b>Exhibition Opening // Stand Açılışı</b>
11:00 - 13:00	<b>PANEL 1: NEW HORIZONS / YENİ UFUKLAR</b>
13:00 - 14:00	<b>Lunch Break // Öğle Yemeği</b>
14:00 - 15:45	<b>PANEL 2: NOTR CARBON - GREEN STEEL NÖTR KARBON - YEŞİL ÇELİK</b>
16:00 - 17:25	<b>Session 1 // Oturum 1</b>
19:30 - 24:00	<b>Cocktail and Gala Dinner</b> Kokteyl ve Gala Yemeği

27 May Friday // 27 Mayıs Cuma	
TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>ORHAN ÖZKAN</b>
09:30 - 11:05	<b>PANEL 3: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK SUSTAINABILITY</b>
11:20 - 13:00	<b>Session 2 // Oturum 2</b>
13:00 - 14:00	<b>Lunch Break // Öğle Yemeği</b>
14:00 - 15:45	<b>PANEL 4: HAMMADDELER ve KAYNAK YÖNETİMİ RAW MATERIALS &amp; RESOURCE MANAGEMENT</b>
16:00 - 17:20	<b>Session 3 // Oturum 3</b>
TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>AKDENİZ</b>
09:30 - 11:05	<b>Session 4 // Oturum 4</b>
11:20 - 13:00	<b>Session 5 // Oturum 5</b>
13:00 - 14:00	<b>Lunch Break // Öğle Yemeği</b>
14:00 - 15:45	<b>Session 6 // Oturum 6</b>
16:00 - 17:20	<b>Session 7 // Oturum 7</b>
17:30 - 18:30	<b>Symposium Closing and Cocktail Prolonge</b> Sempozyum Kapanışı ve Kokteyl Prolonge

# EFRS2022 İZMİR



Day 1 Gün

**SYMPOSIUM PROGRAMME**  
SEMPOZYUM PROGRAMI



PANEL

**1**

PANEL

**PANEL****NEW HORIZONS  
YENİ UFUKLAR****11:00 - 13:00**

Moderator / Moderatör

**N.İzzet ULU****METEM, Türkiye**

Panelists

Firm, Country

**Uğur DALBELER**

Çolakoğlu Metalurji, Türkiye

**Tayfun KOCABAŞ**

Oyak Maden Metalurji, Türkiye

**Veysel YAYAN**

TÇÜD, Türkiye

**Necdet UTKANLAR**

Kardemir, Türkiye

In memory of **Prof. Dr. Naci SEVİNÇ** anısına

PANEL

**2**

PANEL

**PANEL****NOTR CARBON - GREEN STEEL  
NÖTR KARBON - YEŞİL ÇELİK****14:00 - 15:45**

Moderator / Moderatör

**Ayhan TUĞRUL****CARES, UK**

Panelists

Firm, Country

**Muammer BİLGİÇ**

Bilecik Demir Çelik, Türkiye

**Javier BONAPLATA**

Arcelor Mittal, UK

ONLINE**Asa EKDAHL**

World Steel Association, Belgium

ONLINE**Alexander FLEISCHANDERL**

Primetals Technologies, Austria



SESSION

1

OTURUM

**OCCUPATIONAL HEALTH & SAFETY  
İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Burak ARMUTÇU - Çolakoğlu Metalurji**

**16:00 - 16:20**

**Çelik Sektöründe Psikososyal Risk Yönetimi ve Çalışan Psikolojik Sağlığının Korunmasında Güncel Yaklaşımlar**

*Psychosocial Risk Management in the Steel Industry and Current Approaches in Protection of Employee Psychological Health*

İdil IŞIK<sup>1</sup>, Müzeyyen AKSU GENCER<sup>2</sup>, Ali Fırat IŞIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi, <sup>2</sup>GLC Eğitim Danışmanlık, <sup>3</sup>Psikososyal Risk Yönetimi Enstitüsü Türkiye

**16:20 - 16:40** [ONLINE](#)

**S&H Culture and Leadership Fundamentals**

Carlos MARTINEZ

World Steel Association  
Belgium

**16:40 - 17:00**

**İSDEMİR İSG Uygulamaları ve “Her Şey Elimizde” Çalışması**

*İSDEMİR OHS Applications & Everything is in Our Hands for Safety*

Emre SEVİNDİK

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye

**17:00 - 17:20**

**Sürdürülebilirlikte İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sürdürülebilirliği: Demir Çelik Sektörü Örneği**

*Occupational Health and Safety in Sustainability, Sustainability of Occupational Health and Safety: Iron&Steel Industry Example*

Elif SUNGUR

Maltepe Üniversitesi  
Türkiye

Day 2 Gün



PANEL

**3**

PANEL

**PANEL****SUSTAINABILITY  
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK****09:30 - 11:05**

Moderator / Moderatör

**Dave KNIGHT****One Planet, UK**

Panelists

Firm, Country

Lee BRANKLEY

CARES, UK

Clare BROADBENT

World Steel Association, UK

ONLINE

Celal ÖVEN

Çolakoğlu Metalurji, Türkiye



SESSION

**4**

OTURUM

**STRUCTURAL TRANSFORMATION  
YAPISAL DÖNÜŞÜM**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Gürkan GÜRLER - Özkan DÇ****09:30 - 09:50****ESR Prosesinin, Orta Karbonlu Bir Mühendislik Çeliğinin Çelik Temizliği Ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi***Effect of ESR (Electroslag Remelting) Process on The Steel Cleanliness and Mechanical Properties of Middle Carbon Engineering Steels at Asil Celik***Bertan PARMAKSIZOĞLU<sup>1</sup>, Burak EKİN<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Türkiye**09:50 - 10:10****Dry, Hot, Closed Circuit Cooling in Electric Arc Furnace and Off-Gas System Water Cooled Panels***Elektrik Ark Ocağı ve Toz Toplama Boru Panellerinde Kuru, Sıcak ve Kapalı Devre Soğutma***Emrecan SABUNCU**

Diler Iron and Steel / Türkiye

**10:10 - 10:30****Yüksek Karbonlu Çelik Kalitelerinde Makro Segregasyonun Azaltılması için Proses Parametrelerinin Optimizasyonu***Optimization of Process Parameter to Decrease Macro Segregation in High Carbon Steels***İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Kağan KELER**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. / Türkiye

**10:30 - 10:50****Demir-Çelik Sektörü AR-GE Yönetiminde İnovatif Yaklaşım İle Sürdürülebilirlik***Sustainability with Innovative Approach in Iron-Steel Industry R&D Management***Şeyma ULUKAYA, Cansu BESUN, Mücahit SEVİM**

Kardemir A.Ş. / Türkiye

SESSION

2

OTURUM

**NET ZERO CARBON TECHNOLOGIES  
NET ZERO KARBON TEKNOLOJİLERİ**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Sinan BOZKURT - Erdemir****11:20 - 11:40****Challenges of the Steel Industry - Leaving Carbon Behind***Çelik Sektörü Mücadelesi – Karbon Geride Bırakılıyor***Alexander FLEISCHANDERL**Primetals Technologies  
Austria**11:40 - 12:00****Turning Metals Green – Three Major Pathways to Decarbonize Steelmaking***Metalin Yeşil Dönüşümü: Düşük Emisyonlu Çelik Üretimi İçin Üç Temel Yol***Tim KLEIER**SMS Group  
Germany**12:00 - 12:20****Danieli Digimelter Eco-Pro A Design for the Future****Paolo BURIN**Danieli  
Italy**12:20 - 12:40****Technologies for Immediate Decarbonisation and Use of Hydrogen in Iron & Steel Making****Joachim von SCHÉELE<sup>1</sup>, Yigit KURTTEPELİ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Linde Technology, <sup>2</sup>Linde Gas Turkey  
Türkiye

SESSION

5

OTURUM

**DIGITALIZATION  
DİJİTALİZASYON**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Özgür ÖZSOY - Çolakoğlu Metalurji****11:20 - 11:40****Utilization of Static and Dynamic QR Code at Emirates Steel****Abdelmoneim TAWFIK**Emirates Steel  
BAE**11:40 - 12:00****Digital Transformation of the Steel Supply Chain***Çelik Tedarik Zincirinde Dijital Dönüşüm***Lee BRANKLEY<sup>1</sup>, Ladin CAMCI<sup>1</sup>, Ayhan TUGRUL<sup>1</sup>, Andac BIRISCI<sup>1</sup>,  
Andrew WOOLNOUGH<sup>2</sup>**<sup>1</sup>CARES, <sup>2</sup>CARES Digital Partner / Digital Construction Solutions  
UK**12:00 - 12:20****Leveraging Efficiency and Sustainability with Digital Solutions***Dijital Çözümlerle, Verimliliğe ve Sürdürülebilirliğe Seviye Atlatmak***Can YALÇIN**SMS Group  
Germany**12:20 - 12:40****From Automation to Digitalization***Otomasyondan Dijitalizasyona***Kurt HERZOG**Primetals Technologies  
Austria



**PANEL****14:00 - 15:45****RAW MATERIALS & RESOURCE MANAGEMENT  
HAMMADDELER ve KAYNAK YÖNETİMİ****Moderator / Moderatör M. Fatih KESEROĞLU Ekinciler DÇ, Türkiye**

Panelists	Firm, Country
Hasan AROL	Diler Holding, Türkiye
Barış ÇİFTÇİ	World Steel Association, Belgium
Koray GÜNAY	Çolakoğlu Metalurji, Türkiye
Stephen POTTER	BHP VALE, Brazil

**ONLINE**

**PROCESS DEVELOPMENTS  
PROSES GELİŞTİRME**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Bülent YILDIRIM - Diler DÇ****14:00 - 14:20****MSR Uygulamasının Büyük Kesitli Çelik Blumların İç Yapısı Üzerine Etkisi***Effect of MSR (Mechanical Soft Reduction) on The Internal Structure of the Large-Section Steel Blooms at Asil Çelik*Emre BARUTCU<sup>1,2</sup>, Ibrahim ACAR<sup>1</sup>, Gursel HIZIR<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, <sup>3</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Türkiye**14:20 - 14:40****Optimization of Calcium Treatment in Secondary Metallurgical Operations***İkincil Metalurjide Kalsiyum İşleminin Optimizasyonu*Mustafa SAĞLAM, M. Kağan KELER, Kübra AKGÜN,  
Eyüp Veysel ÖZDEMİR, Abdurrahman Mesud ÇAKIR, Betül ÇELİK  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**14:40 - 15:00****Simülasyon Destekli İngot Kalıp Tasarımı: Pilot Ölçekten Endüstriyel Uygulamaya***Simulation Supported Ingot Mold Design: From Pilot Scale to Industrial Implementation*Gamze ATİK<sup>1</sup>, S. Berker IŞIK<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Koray ARABACI<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Türkiye**15:00 - 15:20****Alaşımsız Elektrot Ve Kaynak Teli Kullanımına Uygun Çeliklerin Dökülebilirlik Performansının Arttırılması***Increasing The Castability Performance of Electrode and Welding Wire Grades*

İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Nurettin KARGAĞLU, Mahir Ünal BAKİ

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye

SESSION

**3**

OTURUM

**GREEN APPLICATIONS  
YEŞİL UYGULAMALAR**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Oğuz GÜNDÜZ - Erdemir****16:00 - 16:20****Demir Çelik Sektöründe Karbonsuzlaştırma ve Yeşil Çelik Üretimi***Decarbonization and Green Steel Production in Iron and Steel Industry*

Aziz KILIÇ  
BCS Enerji Mühendislik  
Türkiye

**16:20 - 16:40****Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Çelik***European Green Deal and Green Steel*

Seçil KAYATURAN, İ. Erdem ERTÜRK, Berkman İŞÇİ, Fatih ESİN,  
Onur ACUR, Fikret FURTUN, Mücahit SEVİM  
Kardemir A.Ş.  
Türkiye

**16:40 - 17:00****Elektrik Ark Ocaklı Tesislerde Karbondioksit Emisyonları ve Azaltılmasına Yönelik Tedbirler***Carbon Dioxide Emissions in Electric Arc Furnace Plants and Measures for Emission Reduction*

M. Fatih GÖKÇE, Barış YEŞİLYURT, Zirve IŞIK, Sinan DEMİR  
Diler Demir Çelik  
Türkiye

SESSION

**7**

OTURUM

**REFRATORIES  
REFRAKTERLER**

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Halil ÖZTÜRK - Tosyalı Profil ve Sac****16:00 - 16:20****Green Tundish Lining Technology**

Harald SILBERGASSER  
RHI Magnesita  
Austria

**16:20 - 16:40****Evaluation of Refractory Lining Modifications Required for Green Steel Production**

B. BERTRAND, N. ELIAZORD, H. LEMAISTRE, B. TOUZO  
Calderys  
Belgium

**16:40 - 17:00****Pota Taban Çalışma Astarı Olarak Precast Taban Bloğu Kullanılması***The Use of Precast Refractory as a Working Lining Bottom of Ladle*

Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Berkan GÜNGÖR<sup>2</sup>, N. Erol VELGAY<sup>2</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik, <sup>2</sup>Metamin Mümessillik  
Türkiye



## SYMPOSIUM POSTERS SEMPOZYUM POSTERLERİ

Poster Check Time 26 May 2022 13:00-14:00  
Poster Kontrol Saati 26 Mayıs 2022 13:00-14:00

## POSTERS

## POSTERLER

### EFRS-P01

#### Farklı Çaplardaki Çelik Çubukların Görüntü İşleme Metodu İle Otomatik Sayılması: Deneysel Bir Çalışma

*Automatic Counting of Steel Bars of Different Diameters By Image Processing Method: An Experimental Work*

Gökhan ARMAN, Batuhan BİLGİ, Ali APALI, Ahmet YAVUZ, Rüşdi ERDEM  
Proton Otomasyon Elektrik Makine  
Türkiye

### EFRS-P02

#### Zenginleştirilmiş Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Köpürtme Yöntemi ile İzole İnşaat Tuğla Geliştirilmesi

*Development of Insulated Construction Brick By Foaming Method From Enhanced Electric Arc Furnace Slag Waste*

Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Sinan ARAS  
MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları  
Türkiye

### EFRS-P03

#### Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Yüksek Performanslı Pilot Ölçekli Refrakter İzole Beton Üretimi

*High Performance Pilot Scale Refractory Insulated Concrete Production From Electric Arc Furnace Slag Waste*

Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Baycan KARABAĞ, Sinan ARAS  
MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları  
Türkiye

### EFRS-P04

#### Integrated Service Solutions for a Complete Lifecycle

Frank JANSEN  
SMS Group  
Germany

**EFRS-P05****Nickel Pig Iron (NPI): An Alternative Raw Material for Steel Production***Nikel PİK Demir (NPD): Çelik Üretimi İçin Alternatif Bir Hammadde***Halil YILDIRIM<sup>1</sup>, Ahmet TURAN<sup>2</sup>, Onuralp YÜCEL<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Istanbul Technical University, <sup>2</sup>Yeditepe University

Türkiye

**EFRS-P06****CERAN – Highest Performance Used to Reduce Costs (TCO) and the CO<sub>2</sub> Footprint (TCO<sub>2</sub>)***Maliyetleri (TCO) ve CO<sub>2</sub> Ayak İzini (TCO<sub>2</sub>) Azaltan Yüksek Performanslı Ceran Gresleri***Franck BARDIN, Fabio SILVA, Olaf KURTZ**

TotalEnergies

France

**EFRS-P07****İndüksiyon Ocaklarında Enerji Denklığı***Energy Balance in the Induction Furnaces***Nilan DAĞLI, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik

Türkiye

**EFRS-P08****İkincil Metalurjide Alüminyum Katkısının Cüruf Kimyasına ve Metalik Geri Kazanma Etkisi***The Impact of Additive Aluminum Bullions Upon Recycle of Alloying Elements in Secondary Metallurgy***Mert TURFANDA, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik

Türkiye

**EFRS-P09****Demir – Çelik Tesislerinde Zirkonya Atıklarının Geri Kazanım Modeli***The Recycling Model of Zirconia Waste in Iron - Steel Plants***Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik

Türkiye

**EFRS-P10****Biyel Kollarında Kullanılan Çeliklerdeki Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi***The Effect of Alloy Elements in Steels Used in Connecting Rod on Microstructural and Mechanical Properties***Onur Cihan BOYUNEĞMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Türkiye

**EFRS-P11****Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Fonksiyonu***Function of Protective Gas in Joining Austenitic Stainless Steels By Gas Welding Method***Selin AK, İlayda TÜRKMAN, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Türkiye

**EFRS-P12****Piston Pimlerinde Kullanılan Çelik Alaşımlarının Değişen Kuvvet Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin Simülasyonu***Simulation of Mechanical Properties of Steel Alloys Used in Piston Pins Under the Effects of Changing Forces***Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Türkiye

**EFRS-P13****Managing Quality Execution in the Industry 4.0***Endüstri 4.0 Çağında Akıllı Kalite Yönetimi*

Helga EVERS, Sevda SAROVA  
SMS Group - QuinLogic GmbH  
Germany

**EFRS-P14****CASTEMP Tandış Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Sürekli Döküm Makinesi Proses Dizaynı***Process Desing of Continuous Casting Machine with CASTEMP Tundish Continous Temperature Measurement System*

Emrecan ZORBA<sup>1</sup>, Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>, Baran DOĞAN<sup>2</sup>, Ziya ÖĞÜTCÜ<sup>2</sup>, İsa KESKİN<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik,<sup>2</sup> Heraeus Electro-Nite Termoteknik  
Türkiye

**EFRS-P15****Prediction of Slag Melting Temperature in Erdemir Blast Furnace Process***Erdemir Yüksek Fırınlarında Cüruf Ergime Sıcaklığının Tahminlenmesi*

Can ÖDEN, Zafer ÇETİN, Koray OKTAY, Kemal YÜCE, Taylan ÖZKÖK  
Ereğli Demir ve Çelik  
Türkiye

**EFRS-P16****A Novel Kalina Cycle Power Plant Integrated with Steel Production in Turkey By Using Aspen-HYSYS***Türkiye'deki Çelik Üretimi İçin Yeni Bir Kalina Çevrim Santralinin Aspen HYSYS İle Tasarımı*

Furkan KARTAL, Berna KEKİK, Uğur ÖZVEREN  
Marmara Üniversitesi  
Türkiye

**EFRS-P17****MIWENTI Modular Box**

Renato BIANCHI, Pietro CORTIANA  
MIWENTI  
Italy

**EFRS-P18****Advances in Calcium Treatment with CaSi HDx™ Cored Wire in Steelmaking**

Edgar-Ivan CASTRO-CEDEÑO, Alexandre CARRÉ, Maksym LOCHOSHVILI, Marc SCHATZ, Vincent MORESCHI  
Affival SAS  
France

**EFRS-P19****Demir Çelik Sektöründe Yeni Ürün Geliştirme Süreci***New Product Development Process of Iron and Steel Industry*

Ali Yağız ŞAHİN, Aysun IŞIKGÜL, Mücahit SEVİM, Nazmi SARIKAYA  
Kardemir A.Ş.  
Türkiye

**EFRS-P20****Çelik Potaları Cüruf Bölgesinde Kullanılan Mgo-C Refrakter Tuğlaların Farklı Kalite Çelik Cüruflarına Karşı Penetrasyon Davranışının İncelenmesi***Examination of Penetration Behavior of MgO-C Refractory Bricks Used in Steel Ladles Slag Zone Against Different Quality Steel Slags*

Figen İNCE<sup>1</sup>, Berkay YILMAZ<sup>1</sup>, Ayşe Şükran DEMİRKIRAN<sup>2</sup>, Serdar ASLAN<sup>2</sup>, İsmail ŞİŞLİ<sup>1</sup>, Onur ALTAY<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Kardemir A.Ş., <sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi  
Türkiye

**EFRS-P21****Kardemir Aş Çubuk Kangal Haddehanesi Seviye 2 Sistemi***Kardemir Bar and Coil Rolling Mill Level 2 System***Sefa ÇETİNKAYA, Mustafa DARAKÇIOĞLU, Mücahit SEVİM,  
Nur KARAHAN, Merve REYHANOĞLU**Kardemir A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P22****Kardemir Dijital Dönüşüm Süreci: SAP S/4 HANA Sistemine Geçiş***Kardemir Digital Transformation Process: Transition to SAP S/4 HANA System***Nazmi SARIKAYA, Hande VURŞAN, Özgür SICAKYÜZ, Aysun IŞIKGÜL, Burak KOŞAR**Kardemir A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P23****Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ Enerji Verimliliği Etüt Çalışmalarının Değerlendirilmesi***Karabük Iron and Steel Industry Evaluation of Energy Efficiency Studies***Zafer ŞAHİN, Ayşegül USLU, İ. Erdem ERTÜRK, Merve REYHANOĞLU, Nur KARAHAN,  
Mücahit SEVİM**Kardemir A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P24****Yüksek Fırın Cürufu Atık Isı Değerlendirilmesi***Waste Heat Recovery of Blast Furnace Slag***İ. Erdem ERTÜRK, Seçil KAYATURAN, Abdulrezzak ERDEM, Mert HEKİM, Gökhan  
DOĞANTEPE, Fikret FURTUN**Kardemir A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P25****304E ve 304U Paslanmaz Çelik Alaşımının Mekanik Özelliklerinin Ve Gerilmeli Korozyon Davranışlarının İncelenmesi****Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Onur AY<sup>1</sup>,  
Burçin ÖZBAY KISASÖZ<sup>2</sup>, Alptekin KISASÖZ<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, <sup>3</sup>Kırklareli Üniversitesi  
Türkiye**EFRS-P26****Review of Neutral Ramming Mass Application for Induction Furnaces and Their Wear Mechanism***İndüksiyon Ocakları için Nötr Astar Uygulaması ve Bunların Aşınma Mekanizmalarının Gözden Geçirilmesi***Nuri SARIOĞLU<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>2</sup>, Veli KARA<sup>1</sup>**<sup>1</sup>KÜMAŞ Manyezit Sanayi A.Ş., <sup>2</sup>Bilecik Demir Çelik  
Türkiye**EFRS-P27****Laser OES and The End of Post-Mortem Process Management – How EAF and LF Can Be Operated More Efficient with Rapid, In-Situ Slag Analysis****Alexander SCHLEMMINGER**QuantoLux Innovation  
Germany

**EFRS-P28****Sultan Ahmet Cami' sinde Taşıyıcı Demir Elemanların Karakterizasyon Çalışmaları**

*Characterization Studies of Bearing Iron Elements in Sultan Ahmet Mosque*

Çetin BAĞLAN<sup>1</sup>, Ömer Faruk SERT<sup>2</sup>, Oğuz IŞIK<sup>1</sup>, Sinan ARAS<sup>1</sup>,  
Özkan KESEN<sup>1</sup>, Can Şakir BİNAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları, <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi  
Türkiye

**EFRS-P29****Characterization of High Temperature Oxides of AISI 304 and AISI 430 Stainless Steels**

*AISI 304 Ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Oksitlerinin Karakterizasyonu*

Onur AY<sup>1,2</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Beyhan TATAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, <sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi  
Türkiye

**EFRS-P30****Özkan'ın Yeşil Dönüşümü**

*The Green Transformation of Özkan Demir Çelik*

Hakan ERÇAY<sup>1</sup>, Fırat KALE<sup>1</sup>, Ayça ÇAKIN<sup>1</sup>, Nurdan GÜNDOĞAN<sup>1</sup>,  
Tuncay DİKİCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Özkan Demir Çelik, <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi  
Türkiye

**EFRS-P31****Q-ONE : A Technological Breakthrough in the EAF Process Area**

Manuel BIANCO

Danieli & C. Off. Mecc.

Italy

**EFRS-P32****Earthquake Resistant Rebar - Processing Methodology**

*Depreme Dayanıklı Çelik – Proses Metodolojisi*

B. V. KIEFER, W. P. KREJDOVSKY

Primetals Technologies

USA

**EFRS-P33****The Effect of Recycled Plastics and Cooking Oil On Coke Quality**

*Geri Dönüştürülmüş Plastiklerin ve Yemeklik Yağın Kok Kalitesine Etkisi*

Hüseyin KALAY, Zekeriya ÖZER, Safi Ahmet ÇAL

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P34****Su Kaynaklarının Etkin Yönetimiyle Su Tüketiminin Azaltılması**

*Reducing Water Consumption Through Effective Management of Water Resources*

M. Burak ATAN, Erkin Y. GEDİK, Onur MARTİ, Arif AKSOY,

Gökhan GÜNGÖR, İbrahim SARI

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P35****İsdemir Pulvarize Kömür Enjeksiyon Tesisi Dik Değirmen Giriş Mili Rulmanı Arızasının Periyodik Titreşim Ölçümleri ve Analizleri ile Belirlenmesi**

*Determination of Isdemir Pulverized Coal Injection Plant Vertical Mill Input Shaft Bearing Failure By Periodic Vibration Measurements and Analysis*

Osman FİDAN, Serdar GÖNTE

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P36****Demir Çelik Tesislerinde Saha Varlıklarının Sınıflandırılmasının Önemi ve Uygulama Alanları***Importance of Assets' Classification for Iron and Steel Facilities & Application Areas***Hasan BULUT<sup>1</sup>, Merih YAMAN<sup>1</sup>, Gökçe ARSLAN<sup>1</sup>, Serkan KESKİ<sup>2</sup>, Ali KESKİN<sup>2</sup>, Mesut GÜNGÖR<sup>2</sup>**<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik Türkiye**EFRS-P37****Salamander Delme Pozisyonu ve Salamanderin Torpedoya Alınması Tasarımı***Salamander Drilling Position and Salamander Runner Design Charging into Torpedo Car***Veysel ÇELİK<sup>1</sup>, Kâmil EKEN<sup>2</sup>, Osman FİDAN<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Erdemir Mühendislik, <sup>2</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye**EFRS-P38****Kütük Döküm Makinaları Ara Tüp Merkezleme Pozisyon Tespitinin Görüntü İşleme Teknolojisi ile Gerçekleştirilmesi***Centering the Ladle Shroud Position of Billet Casting Machines with Help of Image Processing Technology***Esra KÜPELİ, Mahir Ünal BAKI**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye

**EFRS-P39****Seviye3 Yazılım Sistemi ile Tandış Takibi***Tundish Tracking with Level 3 Software System***Mehmet Ali ARSLAN, Hüseyin YILDIRIM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye

**EFRS-P40****Kritik Ekipmanların ve Odaların Sıcaklık Takibi***Temperature Monitoring of Critical Equipment & Rooms***Zülfikar Emre TAN, Abuzer AKAT**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye

**EFRS-P41****Wire Rod Mill Online Monitoring Screen (Digitalization)***Kangal Haddehanesi Online İzleme Ekranı (Dijitalleşme)***Ayten ÇEKİÇ, Gökhan BİLMEZ, Erhan KORKMAZ, Erman KAYA**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye

**EFRS-P42****Düşük Silisli Slab Kalitelerinde Si Yüksek Nedenli Üretimlerin Azaltılarak Siparişine Üretimin Arttırılması***Increasing The Production to Order by Reducing The High-Si-Reason Production in Low Silicon Grades***Kübra AKGÜN<sup>1</sup>, İlker AYÇİÇEK<sup>1</sup>, Alper KURTOĞLU<sup>1</sup>, Nurettin KARGAOĞLU<sup>1</sup>, Turan Gökem ESKİYURT<sup>1</sup>, Burcu SOYSAL ATAN<sup>1</sup>, Tayfun KOCABAŞ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik Türkiye**EFRS-P43****EN ISO 683-1:2018 C45E Kalite Kangal Çeliklerinin Deney Tasarımı ile Mekanik Özelliklerin Modellenmesi***The Modeling of Mechanical Properties by Experimental Design of EN ISO 683-1:2018 C45E Quality Wire Rod Steels***Mustafa TÜRKMANİ, Burcu SOYSAL ATAN, Hamdi GÜL, Barış Berke NALBAT, Ahmet SAĞLAM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Türkiye



**EFRS-P44****Çelik Endüstrisinde Dijitalleşme***Digitalization in Steel Industry***Ahmet BEŞKARDEŞ**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P45****Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Bobinlerdeki Göçüklük Durumunun Tahmini***Prediction of Coil Slumping by Machine Learning Method***Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P46****Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Çelik Saclarda ACB (Anti-Coil Breaker) Sistemi ile Rulo Kırığı Kusurunun Giderilmesi***Prevent Coil Break Defect on Hot Rolled Low Carbon Steel Strip with Use ACB (Anti-Coil Breaker)***Erhan SELVİ, Koray ARAY, Serkan Sıkı ARDA, Hasan YILDIRIM**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P47****Slab Tandış Çalışma Astarı Robotik Püskürtme Uygulaması***Slab Tundish Wear Lining Robotic Gunning Application***Memduh KIRCAN, Berke GENÇ, Zülfikar Emre TAN**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P48****İSDEMİR 1. Yüksek Fırın Demontaj Çalışmaları***İSDEMİR 1. Blast Furnace Disassembly Works***Ümit GEBENLİ, İbrahim ÇAKMAK, Oğuzhan SARP KAYA, Muhammed ÇAĞRI AYAN, Abbas GÜNER, Mustafa YILDIRIM, Şinasi GÜLHAN**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P49****SAE J403 1018 Çelik Kalitesinde Dökülebilir Tufal Tabakasının Geliştirilmesi***Development of Removable Scale on SAE J403 1018 Steel Quality***Mustafa TÜRKMANI, Koray ARAY, Ahmet SAĞLAM, Hamdi GÜL, Harun YETİM**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P50****Tuning of Thermomechanical Rolling Model and Its Effects on Mechanical and Microstructure of Nb-Ti Alloy Steels***İsdemir Sıcak Haddehanesinde Termomekanik Haddeleme Modelinin Uygulanması***Hasan YILDIRIM, Cemre KEÇECİ**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P51****Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Tandış Sıcaklığı Takibi***Tundish Temperature Monitoring with Continuous Temperature Measurement System***Erhan SİYAMBAŞ, Hakan KAPUSUZ, Emin Serkan EMİNOĞLU, Ahmet Şafak ÇAKMAK**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye

**EFRS-P52****Yüksek Fırın Hazne Sıvı Seviye İzleme Modeli***Blast Furnace Hearth Liquid Level Monitoring Model***Mehmet GÖKOĞLU, Ramazan YARAŞIR**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P53****Çelikhane Curuflarının Farklı Endüstriyel Tesislerde Kullanımı ve Hidrometalurjik Yöntemler ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması***The Use of Converter Slags in Different Industrial Facilities and The Recycling of Calcium Carbonate by Hydrometallurgical Methods***Muhammet BİLEN**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P54****Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi ile Slab Hareket Bilgilerinin Üretim Yönetim Sistemine Gönderilmesi***Sending Slab Motion Information to The Manufacturing Execution System with Level 2 Crane Monitoring System***Rahmi ÜLKER, Ahmet BEŞKARDEŞ, Erkan DİNDAROĞLU, Kudret EMRE**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P55****Kok Gazı ve Yüksek Fırın Gazı Kullanım Miktarlarına Göre Batarya Kontrol Sıcaklıklarının Modellenmesi***Modeling of Battery Control Temperatures According to the Use Amount of Coke Gas and Blast Furnace Gas***Hüseyin ZÜMRÜT, Ömer ECE, Yavuz Selim GÜNAY**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.

Türkiye

**EFRS-P56****Holistic View on Ladle Opening Rate****Marc André BOMBECK<sup>1</sup>, Enno HILGENHONER<sup>1</sup>, Kerstin HAUKE<sup>2</sup>**<sup>1</sup>WEEBOTEK, <sup>2</sup>Forschungsgemeinschaft Feuerfest

Germany

**EFRS-P57****Lip Castables, Applications and Comparison in Free Board and Lip Section of Steel Casting Ladles***Çelik Döküm Potaları Free Board ve Ağız Bölgesinde Uygulamalar, Betonlar ve Karşılaştırmalar***Ali SESVER<sup>1</sup>, Emin ERSÖZ<sup>1</sup>, Furkan BAŞER<sup>1</sup>, Emine SARI<sup>2</sup>,****Denis KRUTIKOV<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Süperref, <sup>2</sup>Weerulin

Türkiye, Germany

**EFRS-P58****Sıcak Haddehanelerde Şerit Hadde Prosesinde Edger Değişim Süresinin SMED Metoduyla Optimizasyonu***Optimization of the Edger Change Time at The Strip Rolling Process in Hot Mills with The SMED Method***Sonnur KORKMAZ, Kerem TÜRER, Fuat ERDEM, Anıl AGADANGİL**

Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi

Türkiye

**EFRS-P59****APO – Making Refractory Wear Predictable****Gunnar KUNZ<sup>1</sup>, Paulo SOUZA<sup>1</sup>, Gregor LAMMER<sup>1</sup>, Samuel OLIVEIRA<sup>1</sup>,****Karl ZETTL<sup>1</sup>, Nikolaus MUTSAM<sup>2</sup>, Franz PERNKOPF<sup>3</sup>**<sup>1</sup>RHI Magnesita, <sup>2</sup>Mutsam Engineering, <sup>3</sup>Graz University of Technology

Brazil, Austria

**EFRS-P60****Bilecik Demir Çelik Atık Suyun Geri Kazanımı ile Mavi ve Gri Su Ayak İzi Azaltılması***Reducing Blue and Gray Water Footprints by Recycling Wastewater in Bilecik Demir Çelik***Aytuğ KARAMEŞE, Muammer BİLGİÇ**Bilecik Demir Çelik  
Türkiye**EFRS-P61****Sinter Fabrikası Sizing ESP ve Discharge ESP Sulu Yol verme Sisteminden Orta Gerilim Sürücü Sistemine Dönüşümü***Sinter Plant Sizing ESP and Discharge ESP Conversion From Liquid Starting System to Medium Voltage Drive System***Fatih DÜZLÜ, Cengiz ABUKAN, Volkan KIZILAY**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.  
Türkiye**EFRS-P62****Otomotivde Dövme Yöntemiyle Üretilen Ürünler için Yüksek Mukavemetli Yeni Alaşım Tasarımı ve Proses Rotası Geliştirilmesi***Development of New Continuously Cooled High Strength Steels For Forged Automotive Products***İ. İrfan AYHAN<sup>1</sup>, Emre ALAN<sup>1</sup>, Ebru SAĞ<sup>2</sup>, Hasan GÜLEÇ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ÇEMTAŞ Çelik, <sup>2</sup>Birinci Otomotiv  
Türkiye**EFRS-P63****Gaz Yakma Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Yeni Teknolojiler***Energy Efficiency and New Technologies for Gas Combustion Systems***Hülya YILDIZ**Focus Endüstri  
Türkiye**EFRS-P64****Eliminating CO<sub>2</sub>, Energy, and Quality Inefficiencies Through Application of AI****Michael F. PEINTINGER, Falk-Florian HENRICH, Lucas CORTS**Smart Steel Technologies  
USA, Germany**EFRS-P65****Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters****Claudia HEMMELMEIR, Serkan ÖZDEMİR**Primetals Technologies  
Austria**EFRS-P66****Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level****Adnan COSIC, Serkan ÖZDEMİR**Primetals Technologies  
Austria**EFRS-P67****Big Data Analytics and Process Optimization****Didier MORICE<sup>1</sup>, Roelf Janse van RENSBURG<sup>2</sup>, Cesar MELENDEZ<sup>3</sup>**<sup>1</sup>CTO of AST Technology, <sup>2</sup>CMO of ALTech Group, <sup>3</sup>CMO of ALTech Group  
Switzerland, South Africa, Mexico

**EFRS-P68****Investigation of Molybdenum Disulfide and ZDDP on Different Properties of Calcium Sulfonate Complex Greases**

*Kalsiyum Sülfonat Kompleks Greslerin Farklı Özelliklerine Molibden Disülfür ve ZDDP Etkisinin İncelenmesi*

Sevda ŞAHAN Ece KORKUT, Semih KOÇ  
Petrol Ofisi Teknoloji Merkezi (POTEM)  
Türkiye

**EFRS-P69****Production Optimization Due to Real Time Information of Profile and Surface Defects on Rolling Products**

Johann PETERS  
LAP GmbH Laser Applikationen  
Germany



**PROCEEDINGS // BİLDİRİLER**

## Contents / İçindekiler

<b>Çelik Sektöründe Psikososyal Risk Yönetimi ve Çalışan Psikolojik Sağlığının Korunmasında Güncel Yaklaşımlar</b> .....	65
Psychosocial Risk Management in the Steel Industry and Current Approaches in Protection of Employee Psychological Health	
<b>İdil IŞIK<sup>1</sup>, Müzeyyen AKSU GENCER<sup>2</sup>, Ali Fırat IŞIK<sup>3</sup></b>	
<sup>1</sup> İstanbul Bilgi Üniversitesi, <sup>2</sup> GLC Eğitim Danışmanlık, <sup>3</sup> Psikososyal Risk Yönetimi Enstitüsü - Türkiye	
<b>S&amp;H Culture and Leadership Fundamentals</b> .....	70
<b>Carlos MARTINEZ</b>	
World Steel Association - Belgium	
<b>İSDEMİR İSG Uygulamaları ve "Her Şey Elimizde" Çalışması</b> .....	71
İSDEMİR OHS Applications & Everything is in Our Hands for Safety	
<b>Emre SEVİNDİK</b>	
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye	
<b>Sürdürülebilirlikte İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sürdürülebilirliği: Demir Çelik Sektörü Örneği</b> .....	75
Occupational Health and Safety in Sustainability, Sustainability of Occupational Health and Safety: Iron&Steel Industry Example	
<b>Elif SUNGUR</b>	
Maltepe Üniversitesi - Türkiye	
<b>ESR Prosesinin, Orta Karbonlu Bir Mühendislik Çeliğinin Çelik Temizliği ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi</b> .....	80
Effect of ESR (Electroslag Remelting) Process on The Steel Cleanliness and Mechanical Properties of Middle Carbon Engineering Steels at Asil Celik	
<b>Bertan PARMAKSIZOĞLU<sup>1</sup>, Burak EKİN<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup></b>	
<sup>1</sup> Asil Çelik, <sup>2</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye	
<b>Dry, Hot, Closed Circuit Cooling in Electric Arc Furnace and Off-Gas System Water Cooled Panels</b> .....	85
Elektrik Ark Ocağı ve Toz Toplama Boru Panellerinde Kuru, Sıcak ve Kapalı Devre Soğutma	
<b>Emrecan SABUNCU</b>	
Diler Iron and Steel - Türkiye	
<b>Yüksek Karbonlu Çelik Kalitelerinde Makro Segregasyonun Azaltılması için Proses Parametrelerinin Optimizasyonu</b> .....	89
Optimization of Process Parameter to Decrease Macro Segregation in High Carbon Steels	
<b>İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Kağan KELER</b>	
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye	

<b>Demir-Çelik Sektörü AR-GE Yönetiminde İnovatif Yaklaşım ile Sürdürülebilirlik</b> .....	91
Sustainability with Innovative Approach in Iron-Steel Industry R&D Management	
<b>Şeyma ULUKAYA, Cansu BESUN, Mücahit SEVİM</b>	
Kardemir A.Ş. - Türkiye	
<b>Challenges of the Steel Industry - Leaving Carbon Behind</b> .....	95
Çelik Sektörü Mücadelesi – Karbon Geride Bırakılıyor	
<b>Alexander FLEISCHANDERL</b>	
Primetals Technologies - Austria	
<b>Turning Metals Green – Three Major Pathways to Decarbonize Steelmaking</b> .....	104
Metalin Yeşil Dönüşümü: Düşük Emisyonlu Çelik Üretimi İçin Üç Temel Yol	
<b>Tim KLEIER</b>	
SMS Group - Germany	
<b>Danieli Digimelter Eco-Pro a Design for the Future</b> .....	106
<b>Paolo BURIN</b>	
Danieli - Italy	
<b>Technologies for Immediate Decarbonisation and Use of Hydrogen in Iron &amp; Steel Making</b> .....	108
<b>Joachim von SCHÉELE<sup>1</sup>, Yigit KURTTEPELİ<sup>2</sup></b>	
<sup>1</sup> Linde Technology, <sup>2</sup> Linde Gas Turkey - Türkiye	
<b>Utilization of Static and Dynamic QR Code at Emirates Steel</b> .....	109
<b>Abdelmoneim TAWFIK</b>	
Emirates Steel - BAE	
<b>Digital Transformation of the Steel Supply Chain</b> .....	110
Çelik Tedarik Zincirinde Dijital Dönüşüm	
<b>Lee BRANKLEY<sup>1</sup>, Ladin CAMCI<sup>1</sup>, Ayhan TUGRUL<sup>1</sup>, Andac BIRISCI<sup>1</sup>, Andrew WOOLNOUGH<sup>2</sup></b>	
<sup>1</sup> CARES, <sup>2</sup> CARES Digital Partner / Digital Construction Solutions - UK	
<b>Leveraging Efficiency and Sustainability with Digital Solutions</b> .....	115
Dijital Çözümlerle, Verimliliğe ve Sürdürülebilirliğe Seviye Atlamak	
<b>Can YALÇIN</b>	
SMS Group - Germany	

**From Automation to Digitalization..... 117**

Otomasyondan Dijitalizasyona

**Kurt HERZOG**

Primetals Technologies - Austria

**MSR Uygulamasının Büyük Kesitli Çelik Blumların İç Yapısı Üzerine Etkisi ..... 120**

Effect of MSR (Mechanical Soft Reduction) on The Internal Structure of the Large-Section Steel Blooms at Asil Çelik

**Emre BARUTCU<sup>1,2</sup>, Ibrahim ACAR<sup>1</sup>, Gursel HIZIR<sup>1</sup>, Arcan F. DERICIOGLU<sup>1,3</sup>**<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, <sup>3</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye**Optimization of Calcium Treatment in Secondary Metallurgical Operations ..... 127**

İkincil Metalurjide Kalsiyum İşleminin Optimizasyonu

**Mustafa SAĞLAM, M. Kağan KELER, Kübra AKGÜN, Eyüp Veysel ÖZDEMİR, Abdurrahman Mesud ÇAKIR, Betül ÇELİK**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Simülasyon Destekli İngot Kalıp Tasarımı:Pilot Ölçekten Endüstriyel Uygulamaya ..... 130**

Simulation Supported Ingot Mold Design: From Pilot Scale to Industrial Implementation

**Gamze ATİK<sup>1</sup>, S. Berker IŞIK<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Koray ARABACI<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye**Alaşsız Elektrot ve Kaynak Teli Kullanımına Uygun Çeliklerin Dökülebilirlik Performansının Artırılması..... 136**

Increasing The Castability Performance of Electrode and Welding Wire Grades

**İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Nurettin KARGAOĞLU, Mahir Ünal BAKI**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Demir Çelik Sektöründe Karbonsuzlaştırma ve Yeşil Çelik Üretimi ..... 139**

Decarbonization and Green Steel Production in Iron and Steel Industry

**Aziz KILIÇ**

BCS Enerji Mühendislik - Türkiye

**Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Çelik ..... 141**

European Green Deal and Green Steel

**Seçil KAYATURAN, İ. Erdem ERTÜRK, Berkman IŞÇI, Fatih ESİN, Onur ACUR, Fikret FURTUN, Mücahit SEVİM**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**Elektrik Ark Ocaklı Tesislerde Karbondioksit Emisyonları ve Azaltılmasına Yönelik Tedbirler ..... 148**

Carbon Dioxide Emissions in Electric Arc Furnace Plants and Measures for Emission Reduction

**M. Fatih GÖKÇE, Barış YEŞİLYURT, Zirve IŞIK, Sinan DEMİR**

Diler Demir Çelik - Türkiye

**Green Tundish Lining Technology ..... 153****Harald SILBERGASSER**

RHI Magnesita - Austria

**Evaluation of Refractory Lining Modifications Required for Green Steel Production ..... 158****B. BERTRAND, N. ELIAZORD, H. LEMAISTRE, B. TOUZO**

Calderys - Belgium

**Pota Taban Çalışma Astarı Olarak Precast Taban Bloğu Kullanılması ..... 171**

The Use of Precast Refractory as a Working Lining Bottom of Ladle

**Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Berkan GÜNGÖR<sup>2</sup>, N. Erol VELGAY<sup>2</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik, <sup>2</sup>Metamin Mümessillik - Türkiye**Farklı Çaplardaki Çelik Çubukların Görüntü İşleme Metodu ile Otomatik Sayılması: Deneysel Bir Çalışma ..... 177**

Automatic Counting of Steel Bars of Different Diameters by Image Processing Method: An Experimental Work

**Gökhan ARMAN, Batuhan BİLGİ, Ali APALI, Ahmet YAVUZ, Rüşdi ERDEM**

Proton Otomasyon Elektrik Makine - Türkiye

**Zenginleştirilmiş Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Köpürtme Yöntemi ile İzole İnşaat Tuğla Geliştirilmesi ..... 183**

Development of Insulated Construction Brick by Foaming Method From Enhanced Electric Arc Furnace Slag Waste

**Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Sinan ARAS**

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları - Türkiye

**Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Yüksek Performanslı Pilot Ölçekli Refrakter İzole Beton Üretimi..... 191**

High Performance Pilot Scale Refractory Insulated Concrete Production From Electric Arc Furnace Slag Waste

**Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Baycan KARABAĞ, Sinan ARAS**

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları - Türkiye

**Integrated Service Solutions for a Complete Lifecycle ..... 199****Frank JANSEN**

SMS Group - Germany

**Nickel Pig Iron (NPI): An Alternative Raw Material for Steel Production .....201**

Nikel Pik Demir (NPD): Çelik Üretimi İçin Alternatif Bir Hammadde

**Halil YILDIRIM<sup>1</sup>, Ahmet TURAN<sup>2</sup>, Onuralp YÜCEL<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Istanbul Technical University, <sup>2</sup>Yeditepe University - Türkiye**CERAN – Highest Performance Used to Reduce Costs (TCO) and the CO2 Footprint (TCO2).....206**

Maliyetleri (TCO) ve CO2 Ayak İzini (TCO2) Azaltan Yüksek Performanslı Ceran Gresleri

**Franck BARDIN, Fabio SILVA, Olaf KURTZ**

TotalEnergies - France

**İndüksiyon Ocaklarında Enerji Denkliği .....209**

Energy Balance in the Induction Furnaces

**Nilan DAĞLI, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

**İkincil Metalürjide Alüminyum Katkısının Cüruf Kimyasına ve Metalik Geri Kazanım Etkisi.....215**

The Impact of Additive Aluminum Bullions Upon Recycle of Alloying Elements in Secondary Metallurgy

**Mert TURFANDA, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

**Demir – Çelik Tesislerinde Zirkonya Atıkların Geri Kazanım Modeli .....219**

The Recycling Model of Zirconia Waste in Iron - Steel Plants

**Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

**Biyel Kollarında Kullanılan Çeliklerdeki Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi.....226**

The Effect of Alloy Elements in Steels Used in Connecting Rod on Microstructural and Mechanical Properties

**Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

**Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Fonksiyonu .....233**

Function of Protective Gas in Joining Austenitic Stainless Steels By Gas Welding Method

**Selin AK, İlayda TÜRKMAN, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

**Piston Pimlerinde Kullanılan Çelik Alaşımlarının Değişen Kuvvet Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin Simülasyonu .....241**

Simulation of Mechanical Properties of Steel Alloys Used in Piston Pins Under the Effects of Changing Forces

**Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

**Managing Quality Execution in the Industry 4.0 .....248**

Endüstri 4.0 Çağında Akıllı Kalite Yönetimi

**Helga EVERS, Sevda SAROVA**

SMS Group - QuinLogic GmbH - Germany

**CASTEMP Tandış Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Sürekli Döküm Makinesi Proses Dizaynı .....251**

Process Design of Continuous Casting Machine with CASTEMP Tundish Continuous Temperature Measurement System

**Emrehan ZORBA<sup>1</sup>, Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>, Baran DOĞAN<sup>2</sup>, Ziya ÖĞÜTCÜ<sup>2</sup>, İsa KESKİN<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik, <sup>2</sup>Heraeus Electro-Nite Termoteknik - Türkiye**Prediction of Slag Melting Temperature in Erdemir Blast Furnace Process .....255**

Erdemir Yüksek Fırınlarında Cüruf Ergime Sıcaklığının Tahminlenmesi

**Can ÖDEN, Zafer ÇETİN, Koray OKTAY, Kemal YÜCE, Taylan ÖZKÖK**

Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye

**A Novel Kalina Cycle Power Plant Integrated with Steel Production in Turkey by Using Aspen-HYSYS .....260**

Türkiye' deki Çelik Üretimi İçin Yeni Bir Kalina Çevrim Santralinin Aspen HYSYS ile Tasarımı

**Furkan KARTAL, Berna KEKİK, Uğur ÖZVEREN**

Marmara Üniversitesi - Türkiye

**MIWENTI Modular Box .....264****Renato BIANCHI, Pietro CORTIANA**

MIWENTI - Italy

**Advances in Calcium Treatment with CaSi HDx™ Cored Wire in Steelmaking.....268****Edgar-Ivan CASTRO-CEDENO, Alexandre CARRÉ, Maksym LOCHOSHVILI, Marc SCHATZ, Vincent MORESCHI**

Affival SAS - France

**Demir Çelik Sektöründe Yeni Ürün Geliştirme Süreci .....272**

New Product Development Process of Iron and Steel Industry

**Ali Yağız ŞAHİN, Aysun IŞIKGÜL, Mücahit SEVİM, Nazmi SARIKAYA**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**Çelik Potaları Cüruf Bölgesinde Kullanılan Mgo-C Refrakter Tuğlaların Farklı Kalite Çelik Cüruflarına Karşı Penetrasyon Davranışının İncelenmesi.....276**

Examination of Penetration Behavior of MgO-C Refractory Bricks Used in Steel Ladles Slag Zone Against Different Quality Steel Slags

**Figen İNCE<sup>1</sup>, Berkay YILMAZ<sup>1</sup>, Ayşe Şükran DEMİRKIRAN<sup>2</sup>, Serdar ASLAN<sup>2</sup>, İsmail ŞİŞLİ<sup>1</sup>, Onur ALTAY<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Kardemir A.Ş., <sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi - Türkiye**Kardemir AŞ Çubuk Kangal Haddehanesi Seviye 2 Sistemi .....283**

Kardemir Bar and Coil Rolling Mill Level 2 System

**Sefa ÇETİNKAYA, Mustafa DARAKÇIOĞLU, Mücahit SEVİM, Nur KARAHAN, Merve REYHANOĞLU**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**Kardemir Dijital Dönüşüm Süreci: SAP S/4 HANA Sistemine Geçiş.....288**

Kardemir Digital Transformation Process: Transition to SAP S/4 HANA System

**Nazmi SARIKAYA, Hande VURŞAN, Özgür SİCAKYÜZ, Aysun IŞIKGÜL, Burak KOŞAR**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ Enerji Verimliliği Etüt Çalışmalarının Değerlendirilmesi.....293**

Karabük Iron and Steel Industry Evaluation of Energy Efficiency Studies

**Zafer ŞAHİN, Ayşegül USLU, İ. Erdem ERTÜRK, Merve REYHANOĞLU, Nur KARAHAN, Mücahit SEVİM**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**Yüksek Fırın Cürufu Atık Isı Değerlendirilmesi .....301**

Waste Heat Recovery of Blast Furnace Slag

**İ. Erdem ERTÜRK, Seçil KAYATURAN, Abdulrezzak ERDEM, Mert HEKİM, Gökhan DOĞANTEPE, Fikret FURTUN**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

**304E ve 304U Paslanmaz Çelik Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin ve Gerilmeli Korozyon Davranışlarının İncelenmesi .....308****Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Onur AY<sup>1</sup>, Burçin ÖZBAY KISASÖZ<sup>2</sup>, Alptekin KISASÖZ<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, <sup>3</sup>Kırklareli Üniversitesi - Türkiye**Review of Neutral Ramming Mass Application for Induction Furnaces and Their Wear Mechanism .....313**

İndüksiyon Ocakları için Nötr Astar Uygulaması ve Bunların Aşınma Mekanizmalarının Gözden Geçirilmesi

**Nuri SARIOĞLU<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>2</sup>, Veli KARA<sup>1</sup>**<sup>1</sup>KÜMAŞ Manyezit Sanayi A.Ş., <sup>2</sup>Bilecik Demir Çelik - Türkiye**Laser OES and the End of Post-Mortem Process Management – How EAF and LF Can Be Operated More Efficient with Rapid, In-Situ Slag Analysis .....318****Alexander SCHLEMMINGER**

QuantoLux Innovation - Germany

**Sultan Ahmet Cami' sinde Taşıyıcı Demir Elemanların Karakterizasyon Çalışmaları .....321**

Characterization Studies of Bearing Iron Elements in Sultan Ahmet Mosque

**Çetin BAĞLAN<sup>1</sup>, Ömer Faruk SERT<sup>2</sup>, Oğuz IŞIK<sup>1</sup>, Sinan ARAS<sup>1</sup>, Özkan KESEN<sup>1</sup>, Can Şakir BİNAN<sup>2</sup>**<sup>1</sup>MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları, <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye**Characterization of High Temperature Oxides of AISI 304 and AISI 430 Stainless Steels .....329**

AISI 304 Ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Oksitlerinin Karakterizasyonu

**Onur AY<sup>1,2</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Beyhan TATAR<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, <sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi - Türkiye**Özkan'ın Yeşil Dönüşümü.....337**

The Green Transformation of Özkan Demir Çelik

**Hakan ERÇAY<sup>1</sup>, Fırat KALE<sup>1</sup>, Ayça ÇAKIN<sup>1</sup>, Nurdan GÜNDOĞAN<sup>1</sup>, Tuncay DİKİCİ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Özkan Demir Çelik, <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi - Türkiye**Q-ONE : A Technological Breakthrough in the EAF Process Area .....341****Manuel BIANCO**

Danieli &amp; C. Off. Mecc. - Italy

**Earthquake Resistant Rebar - Processing Methodology .....342**

Depreme Dayanıklı Çelik – Proses Metodolojisi

**B. V. KIEFER, W. P. KREJDOVSKY**

Primetals Technologies - USA

**The Effect of Recycled Plastics and Cooking Oil On Coke Quality .....348**

Geri Dönüştürülmüş Plastiklerin ve Yemeklik Yağın Kok Kalitesine Etkisi

**Hüseyin KALAY, Zekeriya ÖZER, Safi Ahmet ÇAL**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye



**Su Kaynaklarının Etkin Yönetimiyle Su Tüketiminin Azaltılması .....353**

Reducing Water Consumption Through Effective Management of Water Resources

**M. Burak ATAN, Erkin Y. GEDİK, Onur MARTİ, Arif AKSOY,  
Gökhan GÜNGÖR, İbrahim SARI**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**İsdemir Pulvarize Kömür Enjeksiyon Tesisi Dik Değirmen Giriş Mili Rulmanı Arızasının Periyodik Titreşim Ölçümleri ve Analizleri ile Belirlenmesi.....358**

Determination of Isdemir Pulverized Coal Injection Plant Vertical Mill Input Shaft Bearing Failure by Periodic Vibration Measurements and Analysis

**Osman FİDAN, Serdar GÖNTE**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Demir Çelik Tesislerinde Saha Varlıklarının Sınıflandırılmasının Önemi ve Uygulama Alanları .....362**

Importance of Assets' Classification for Iron and Steel Facilities &amp; Application Areas

**Hasan BULUT<sup>1</sup>, Merih YAMAN<sup>1</sup>, Gökçe ARSLAN<sup>1</sup>, Serkan KESKİ<sup>2</sup>, Ali KESKİN<sup>2</sup>,  
Mesut GÜNGÖR<sup>2</sup>**<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye**Salamander Delme Pozisyonu ve Salamanderin Torpedoya Alınması Tasarımı .....365**

Salamander Drilling Position and Salamander Runner Design Charging into Torpedo Car

**Veysel ÇELİK<sup>1</sup>, Kâmil EKEN<sup>2</sup>, Osman FİDAN<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Erdemir Mühendislik, <sup>2</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye**Kütük Döküm Makinaları Ara Tüp Merkezleme Pozisyon Tespitinin Görüntü İşleme Teknolojisi ile Gerçekleştirilmesi .....370**

Centering the Ladle Shroud Position of Billet Casting Machines with Help of Image Processing Technology

**Esra KÜPELİ, Mahir Ünal BAKİ**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Seviye3 Yazılım Sistemi ile Tandış Takibi.....375**

Tundish Tracking with Level 3 Software System

**Mehmet Ali ARSLAN, Hüseyin YILDIRIM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Kritik Ekipmanların ve Odaların Sıcaklık Takibi .....379**

Temperature Monitoring of Critical Equipment &amp; Rooms

**Zülfikar Emre TAN, Abuzer AKAT**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Wire Rod Mill Online Monitoring Screen (Digitalization) .....382**

Kangal Haddehanesi Online İzleme Ekranı (Dijitalleşme)

**Ayten ÇEKİÇ, Gökhan BİLMEZ, Erhan KORKMAZ, Erman KAYA**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Düşük Silisli Slab Kalitelerinde Si Yüksek Nedenli Üretimlerin Azaltılarak Siparişine Üretimin Arttırılması.....385**

Increasing The Production to Order by Reducing The High-Si-Reason Production in Low Silicon Grades

**Kübra AKGÜN<sup>1</sup>, İlker AYÇİÇEK<sup>1</sup>, Alper KURTOĞLU<sup>1</sup>, Nurettin KARGAOĞLU<sup>1</sup>,  
Turan Görkem ESKİYURT<sup>1</sup>, Burcu SOYSAL ATAN<sup>1</sup>, Tayfun KOCABAŞ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye**EN ISO 683-1:2018 C45E Kalite Kangal Çeliklerinin Deney Tasarımı ile Mekanik Özelliklerin Modellenmesi .....388**

The Modeling of Mechanical Properties by Experimental Design of EN ISO 683-1:2018 C45E Quality Wire Rod Steels

**Mustafa TÜRKMANİ, Burcu SOYSAL ATAN, Hamdi GÜL, Barış Berke NALBAT,  
Ahmet SAĞLAM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Çelik Endüstrisinde Dijitalleşme.....391**

Digitalization in Steel Industry

**Ahmet BEŞKARDEŞ**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Bobinlerdeki Göçüklük Durumunun Tahmini .....395**

Prediction of Coil Slumping by Machine Learning Method

**Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Çelik Saclarda ACB (Anti-Coil Breaker) Sistemi ile Rulo Kırığı Kusurunun Giderilmesi .....399**

Prevent Coil Break Defect on Hot Rolled Low Carbon Steel Strip with Use ACB (Anti-Coil Breaker)

**Erhan SELVİ, Koray ARAY, Serkan Sıkı ARDA, Hasan YILDIRIM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Slab Tandış Çalışma Astarı Robotik Püskürtme Uygulaması .....401**

Slab Tundish Wear Lining Robotic Gunning Application

**Memduh KIRCAN, Berke GENÇ, Zülfikar Emre TAN**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**İSDEMİR 1. Yüksek Fırın Demontaj Çalışmaları .....404**

İSDEMİR 1. Blast Furnace Disassembly Works

**Ümit GEBENLİ, İbrahim ÇAKMAK, Oğuzhan SARPKAYA,  
Muhammed ÇAĞRI AYAN, Abbas GÜNER, Mustafa YILDIRIM, Şinasi GÜLHAN**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**SAE J403 1018 Çelik Kalitesinde Dökülebilir Tufal Tabakasının Geliştirilmesi.....408**

Development of Removable Scale on SAE J403 1018 Steel Quality

**Mustafa TÜRKMANI, Koray ARAY, Ahmet SAĞLAM, Hamdi GÜL, Harun YETİM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Tuning of Thermomechanical Rolling Model and Its Effects on Mechanical and  
Microstructure of Nb-Ti Alloy Steels.....411**

İsdemir Sıcak Haddehanesinde Termomekanik Haddeleme Modelinin Uygulanması

**Hasan YILDIRIM, Cemre KEÇECİ**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Tandış Sıcaklığı Takibi.....416**

Tundish Temperature Monitoring with Continuous Temperature Measurement System

**Erhan SİYAMBAŞ, Hakan KAPUSUZ, Emin Serkan EMİNOĞLU,  
Ahmet Şafak ÇAKMAK**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Yüksek Fırın Hazne Sıvı Seviye İzleme Modeli.....420**

Blast Furnace Hearth Liquid Level Monitoring Model

**Mehmet GÖKOĞLU, Ramazan YARAŞIR**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Çelikhane Curuflarının Farklı Endüstriyel Tesislerde Kullanımı ve Hidrometalurjik  
Yöntemler ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması .....425**

The Use of Converter Slags in Different Industrial Facilities and The Recycling of Calcium Carbonate by Hydrometallurgical Methods

**Muhammet BİLEN**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi ile Slab Hareket Bilgilerinin Üretim Yönetim Sistemine  
Gönderilmesi.....432**

Sending Slab Motion Information to The Manufacturing Execution System with Level 2 Crane Monitoring System

**Rahmi ÜLKER, Ahmet BEŞKARDEŞ, Erkan DİNDAROĞLU, Kudret EMRE**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Kok Gazı ve Yüksek Fırın Gazı Kullanım Miktarlarına Göre Batarya  
Kontrol Sıcaklıklarının Modellenmesi .....436**

Modeling of Battery Control Temperatures According to the Use Amount of Coke Gas and Blast Furnace Gas

**Hüseyin ZÜMRÜT, Ömer ECE, Yavuz Selim GÜNAY**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

**Holistic View on Ladle Opening Rate.....440****Marc André BOMBECK<sup>1</sup>, Enno HILGENHONER<sup>1</sup>, Kerstin HAUKE<sup>2</sup>**<sup>1</sup>WEEBOTEC, <sup>2</sup>Forschungsgemeinschaft Feuerfest - Germany**Lip Castables, Applications and Comparison in Free Board and Lip Section of  
Steel Casting Ladles.....448**

Çelik Döküm Potaları Free Board ve Ağız Bölgesinde Uygulamalar, Betonlar ve Karşılaştırmalar

**Ali SESVER<sup>1</sup>, Emin ERSÖZ<sup>1</sup>, Furkan BAŞER<sup>1</sup>, Emine SARI<sup>2</sup>, Denis KRUTIKOV<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Süperref, <sup>2</sup>Weerulin - Türkiye, Germany**Sıcak Haddehanelerde Şerit Hadde Prosesinde Edger Değişim Süresinin  
SMED Metoduyla Optimizasyonu .....451**

Optimization of the Edger Change Time at The Strip Rolling Process in Hot Mills with The SMED Method

**Sonnur KORKMAZ, Kerem TÜNER, Fuat ERDEM, Anıl AGADANGİL**

Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi - Türkiye

**APO – Making Refractory Wear Predictable .....455****Gunnar KUNZ<sup>1</sup>, Paulo SOUZA<sup>1</sup>, Gregor LAMMER<sup>1</sup>, Samuel OLIVEIRA<sup>1</sup>,****Karl ZETTL<sup>1</sup>, Nikolaus MUTSAM<sup>2</sup>, Franz PERNKOPF<sup>3</sup>**<sup>1</sup>RHI Magnesita, <sup>2</sup>Mutsam Engineering, <sup>3</sup>Graz University of Technology - Brazil, Austria**Bilecik Demir Çelik Atık Suyun Geri Kazanımı ile Mavi ve Gri Su Ayak İzi Azaltılması.....461**

Reducing Blue and Gray Water Footprints by Recycling Wastewater in Bilecik Demir Çelik

**Aytuğ KARAMEŞE, Muammer BİLGİÇ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

**Sinter Fabrikası Sizing ESP ve Discharge ESP Sulu Yol verme Sisteminden Orta Gerilim  
Sürücü Sistemine Dönüşümü .....467**

Sinter Plant Sizing ESP and Discharge ESP Conversion From Liquid Starting System to Medium Voltage Drive System

**Fatih DÜZLÜ, Cengiz ABUKAN, Volkan KIZILAY**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

<b>Otomotivde Dövme Yöntemiyle Üretilen Ürünler için Yüksek Mukavemetli Yeni Alaşım Tasarımı ve Proses Rotası Geliştirilmesi .....</b>	<b>471</b>
Development of New Continuously Cooled High Strength Steels For Forged Automotive Products	
<b>İ. İrfan AYHAN<sup>1</sup>, Emre ALAN<sup>1</sup>, Ebru SAĞ<sup>2</sup>, Hasan GÜLEÇ<sup>2</sup></b>	
<sup>1</sup> ÇEMTAŞ Çelik, <sup>2</sup> Birinci Otomotiv - Türkiye	
<hr/>	
<b>Gaz Yakma Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Yeni Teknolojiler .....</b>	<b>477</b>
Energy Efficiency and New Technologies for Gas Combustion Systems	
<b>Hülya YILDIZ</b>	
Focus Endüstri - Türkiye	
<hr/>	
<b>Eliminating CO2, Energy, and Quality Inefficiencies Through Application of AI .....</b>	<b>482</b>
<b>Michael F. PEINTINGER, Falk-Florian HENRICH, Lucas CORTS</b>	
Smart Steel Technologies - USA, Germany	
<hr/>	
<b>Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters .....</b>	<b>488</b>
<b>Claudia HEMMELMEIR, Serkan ÖZDEMİR</b>	
Primetals Technologies - Austria	
<hr/>	
<b>Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level .....</b>	<b>498</b>
<b>Adnan COSIC, Serkan ÖZDEMİR</b>	
Primetals Technologies - Austria	
<hr/>	
<b>Big Data Analytics and Process Optimization .....</b>	<b>501</b>
<b>Didier MORICE<sup>1</sup>, Roelf Janse van RENSBURG<sup>2</sup>, Cesar MELENDEZ<sup>3</sup></b>	
<sup>1</sup> CTO of AST Technology, <sup>2</sup> CMO of ALTech Group, <sup>3</sup> CMO of ALTech Group - Switzerland, South Africa, Mexico	
<hr/>	
<b>Investigation of Molybdenum Disulfide and ZDDP on Different Properties of Calcium Sulfonate Complex Greases.....</b>	<b>507</b>
Kalsiyum Sülfonat Kompleks Greslerin Farklı Özelliklerine Molibden Disülfür ve ZDDP Etkisinin İncelenmesi	
<b>Sevda ŞAHAN Ece KORKUT, Semih KOÇ</b>	
Petrol Ofisi Teknoloji Merkezi (POTEM) - Türkiye	
<hr/>	
<b>Production Optimization Due to Real Time Information of Profile and Surface Defects on Rolling Products.....</b>	<b>515</b>
<b>Johann PETERS</b>	
LAP GmbH Laser Applikationen - Germany	
<hr/>	

## Çelik Sektöründe Psikososyal Risk Yönetimi ve Çalışan Psikolojik Sağlığının Korunmasında Güncel Yaklaşımlar

Psychosocial Risk Management in the Steel Industry and Current Approaches in Protection of Employee Psychological Health



İdil IŞIK<sup>1</sup>, Müzeyyen AKSU GENCER<sup>2</sup>, Ali Fırat IŞIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi, <sup>2</sup>GLC Eğitim Danışmanlık, <sup>3</sup>Psikososyal Risk Yönetimi Enstitüsü - Türkiye

### Abstract

This paper aims to summarize the developments in the field of "ISO 45003, Occupational health and safety management — Psychological health and safety at work- — Guidelines for managing psychosocial risks", which focuses on the effects of work conditions on employee psychological health and well-being and their prevention.

### Özet

Bu bildiri, iş koşullarının çalışan psikolojik sağlığı ve esenliği üzerindeki etkilerine ve bunların önlenmesine odaklanan, "ISO 45003, İş sağlığı ve güvenliği yönetimi – İşyerinde psikolojik sağlık ve güvenlik – Psikososyal risklerin yönetimine ilişkin kılavuz" ile ilgili gelişmeleri özetlemeyi hedeflemektedir.

### 1. Giriş

Türkiye’de ve Dünya’da birçok insan, işin içeriği, kişiler arası ilişkiler, yönetim yaklaşımları ve kurum kültürü nedeniyle sağlıklarını ve refahlarını olumsuz etkileyen psikososyal tehlike kaynakları altında çalışmaktadırlar. Ne yazık ki birçok işletme için bu konular nispeten daha az çalışılan konulardır (Şahan ve Demiral, 2019). Bununla birlikte, çalışma koşullarının kişinin psikolojik sağlığı üzerindeki etkileri, psikososyal tehlike ve risk kavramı doğrudan kullanılmasa da örgütsel psikoloji ve iş psikolojisi, örgütsel davranış, iş sosyolojisi ve yönetimin ilgili alt uzmanlıklarından teorik kavramlarla yıllardır incelenmektedir. Bu konunun güncel göstergelerinden biri, Nottingham Üniversitesi, İş Sağlığı ve Örgütleri Enstitüsü (I-WHO) ve İngiliz Standartlar Enstitüsü (BSI) ile işbirliği içinde hazırlanan "PAS 1010: 2011-Çalışma Ortamında Psikososyal Risklerin Yönetimi için Kılavuz" çalışmasıdır (Leka, Jain, Widerszal-Bazyl, Żońnierczyk-Zreda and Zwetsloot, 2011). Bu kılavuz, psikososyal faktörleri şu şekilde tanımlamaktadır: "İş içerikleri, organizasyon ve yönetim ve diğer çevresel ve organizasyonel koşullar,

çalışan yetkinlikleri ve ihtiyaçları arasındaki etkileşim". Kuruluşların gönüllü olarak psikososyal riskleri yönetmek için uygulayabileceği bu rehber, yakın zamanda ISO tarafından da uluslararası platformlardan görüşe açıldı; ISO 45001 standardının altında yer alan bir kılavuza dönüştürüldü (<https://www.iso.org/standard/64283.html>). ISO 45003 kodu ile hazırlanan bu kılavuz "İş sağlığı ve güvenliği yönetimi - İşyerinde psikolojik sağlık ve güvenlik - Psikososyal riskleri yönetme yönergesi" başlığı ile ISO'nun standart geliştirme yaşam sürecini Haziran 2021 itibariyle tamamladı.

Psikososyal riskleri ölçmek ve yönetmek için esasların sistematik şekilde belirlenmesini hedefleyen bu çalışmaların kökeninde, Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (Uluslararası Çalışma Örgütü, 1986) "psikososyal faktörlerin çalışan sağlığı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olma olasılığı" vurgusunun yer aldığı da söyleyebiliriz. Psikolojik sağlıktaki bozulmasının ciddiyeti, bu faktörlere maruz kalma düzeyine bağlı olarak değişir. Bu kılavuz, psikososyal riskler kapsamında işle ilgili stresi vurgulamakta ve işle ilgili stresi, iş yerinin, kurumsal ve kurumsal çevrenin çeşitli olumsuz ve zararlı yönlerine duygusal, bilişsel, davranışsal ve fizyolojik yanıtlar olarak tanımlamaktadır.

Psikososyal riskin değerlendirilmesi ve önlenmesine dair Türkiye’de yasal bir yapı ve politikanın eksikliğinin son yıllarda fark edildiğini söyleyebiliriz. Son yıllarda bakanlıkların, meslek örgütlerinin, sivil toplum örgütlerinin, akademik dünyanın ve uygulayıcıların "psikososyal risk" kavramına vurgu yaptığı çalışmaları daha sık görmeye başladık. 28512 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği (2012), tehlike kaynaklarını belirleme yükümlülüğünü altında psikososyal tehlikeleri bir kavram olarak içerse de tüm yönetmelikte psikososyal kelimesi sadece iki kez geçmektedir (8. Maddenin 3. ve 4. Paragraflarında); ancak, hangi tehlike kaynaklarının bunlara dahil olduğuna ve bunların nasıl analiz edileceğine dair rehberlik içermemektedir.

## 2. Psikososyal Tehlikeler ve Riskler

Ülkemizde son yıllarda psikososyal tehlikeleri sistematik olarak inceleyen çalışmalara rastlıyoruz. Bunlardan birisi, maden işletmelerindeki psikososyal risklerin tespit edilmesi ve bunlara yönelik çözümler için işyeri hekimlerinin kapasitesini yükseltmeyi hedefleyen "İş'te Psikososyal Güvenlik Projesi"dir (<https://psikosoyalrisk.org/>; Işık vd., 2022). Bu proje, psikososyal tehlikeler üzerine yaygın olarak bilinen bir başka çalışma, bir araştırma ağı tarafından yürütülen "Kopenhag Psikososyal Risk Değerlendirme Anketi"nden (COPSOQ; Kristensen vd., 2005) hareket noktası olarak maden sektörüne özel bir psikososyal risk ölçüm aracı ve bunun kullanımını destekleyecek bir dijital platform hazırlanmaktadır. Bu risk değerlendirme aracında odaklanılan psikososyal unsurlar şunlardır: iş yaşam dengesi, rol açıklığı, rol çatışması, iş ve çalışma şartları güvencesizliği, nicel talepler, fiziksel talepler, duygusal talepler, bilişsel talepler, yer altında çalışma, sosyal destek ve topluluk duygusu, güven, işe etki ve işte özgürlük, adalet ve saygı, işin anlamı, öngörülebilirlik, takdir ve fark edilme, gelişim olanakları, çalışma koşulları, ortam koşulları, iş memnuniyeti, işyeri zorbalığı ve ayrımcılık nedenleri.

Bu ölçüm aracının ve psikososyal risklerin teorik arka planının detaylı şekilde aktarımına ilişkin olarak bir uzaktan eğitim platformu da geliştirilmektedir. Bu kapsamda ele alınan hazırlanan eğitim modülleri ise şunlardır: Fiziksel çalışma şartları, kişisel yaşam biçimleri ve iş yaşamına etkileri, geri bildirim, sosyal destek ve aidiyet, güven ve adalet, güvenceli çalışma, liderlik, otonomi, görev tanımlarının netliği, iş talepleri, iş yaşamı kalitesi, iş güvenliği kültürü, iş-özel yaşam dengesi, kötü muamele, ayrımcılık, damgalama, psikolojik problemler, çalışan esenliği ve devamsızlık.

Psikososyal tehlike kaynakları, çalışma yaşamının kalitesini düşüren faktörlerdir. Çalışanların psikolojik sağlığına odaklanan yayınlarda iş-yaşam kalitesi teriminin son 20 yılda daha sık kullanılmaya başladığı görüyoruz. İşin kalitesi, çalışanların çalışma ortamını ne ölçüde avantajlı ve tatmin edici olarak algıladığıyla ilgilidir. Bu algı, Harrison'a (1985) göre çalışma koşullarının fiziksel ve psikolojik sağlık ve esenliğe olumlu katkısı ile ilişkilidir. Çalışanlar arasındaki karşılıklı saygı ve çalışanlar ile yöneticiler arasındaki ikili ilişkiler, iş birliği ve ortak karar alma fırsatları bu olumlu katkıyı güçlendiren değerlerdir. Daha spesifik olarak can güvenliği, iş sağlığı ile ilgili önlemler, çalışma saatleri dengesi ve uygun ücret, çalışma yaşam kalitesinin belirleyicileri arasındadır. Gadon (1984) ise iş yaşam kalitesi ile ilgili çabaların kişisel ve mesleki gelişim, işlerin yeniden tasarlanması, ekip çalışmasının düzenlenmesi, işlerin yeniden planlanması ve toplam organizasyon değişikliği ile ilgili olduğunu belirtmiştir.

Saklani (2003) iş yaşam kalitesi için on üç faktörü tanımlar: adil ve uygun ücretler, destekleyici haklar ve refah unsurları,

iş güvenliği, güvenli ve sağlıklı fiziksel koşullar, dengeli iş yükü, becerilerin kullanılması için fırsatlar, sürekli kişisel gelişim fırsatları, yapıcı insan ilişkileri ve çalışmanın sosyal yönleri, katılımcı karar verme, ödüllendirme ve cezalandırma sistemleri, eşitlik, adalet ve sorunlarla ilgilenme şekli hakkında şikayetler, iş-özel yaşam dengesi ve örgütün toplumdaki itibarı. Royuela, Tamayo ve Suriñach (2007) ise Avrupa Komisyonu'nun iş yaşamının kalitesi için 10 boyuta odaklandığını belirtmektedir: içsel motivasyon tetikleyici, beceriler, yaşam boyu öğrenme ve kariyer geliştirme fırsatları, cinsiyet eşitliği, çalışan sağlığı ve güvenlik, esneklik ve güvence, işgücüne katılım fırsatları, istihdamda kapsayıcılık ve sosyal diyalog, çeşitlilik ve ayrımcılıktan kaçınma ve verimlilik ve üretkenlik düzeyleri dahil bütüncül iş performansı.

Yaşam kalitesi kavramının Dünya Sağlık Örgütü'nün "Sağlıklı İşyerleri (WHO, 2010) tanımıyla da ilişkili olduğunu görüyoruz: sağlıklı bir işyeri, çalışanların ve yöneticilerin sağlığı, güvenliği ve iyileştirmeyi korumak ve geliştirmek için işbirliği yaptığı bir iş yeridir tüm çalışanların refahı ve kuruluşun sürdürülebilirliği. Bu işbirliği ancak fiziksel ve psikososyal çalışma koşullarının iyileştirilmesi, işverenlerin sağlıklı yaşam tarzları geliştirmesine destek olması ve kuruluşun çalışanlar, aileleri için sağlık koşullarını güçlendirme çabalarına katılımı mümkündür. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2010), sağlıklı işyerlerini hem koruyucu sağlık uygulamalarına sahip hem de sağlık koşullarını iyileştirmeye çalışan yerler olarak tanımlamaktadır. Burton (2008), odaklandığı yayınında kurumlar için sağlıklı işyerlerinin kazanımları, organizasyondaki çalışanların psikolojik sağlığını ve refahını etkileyen üç ana faktörden bahseder. milletler ve bu üç özellik için gerekli önlemler alınmadıkça işletmelerin sağlığı hakkında konuşamayacağımızı belirtir. Birincisi iş sağlığı ve güvenliği. Fiziksel koşullar, çalışan sağlığı ve güvenliği için tehdit oluşturmamalıdır. İkincisi örgütsel kültürdür ve bazen "psikososyal çalışma koşulları" olarak adlandırılabilirliğini belirtir. Çalışan sağlığını ve güvenliğini tehdit edebilecek fiziksel olmayan koşulları belirtir. Bu, psikolojik sağlık sorunlarına neden olabilecek iş veya organizasyon ölçeğinde sosyal stres faktörlerini içerir. Son olarak, kişisel sağlık uygulamaları gelir. Bir çalışanın iş hayatı, çalışmadığı zamanlarda bile sağlıklı yaşam tarzı seçimleri yapmasına engel olabilir. Spor yapamama, alkol, madde ve sigara bağımlılığı, fazla kilo gibi sorunlar bunlar arasındadır. İşverenler, çalışanlarının sağlık uygulamaları üzerinde doğrudan zorlayıcı etkiler sunmasalar da, çalışanlarını sağlıklarını korumaya teşvik etmenin yollarını bulabilirler.

İnsanları çalışma hayatı ve kurumsal süreçler bağlamında anlamak karmaşık bir hedeftir ve özellikle çalışan sağlığı ve güvenliği alanlarında tercih edebileceğimiz yaklaşımlardan biri "Sistem" olabilir. Sistem, ilkelerine göre belirli bir şekilde birbirini etkileyen, birbiriyle ilişkili veya birbirine bağlanan karmaşık öğelerin sınıflandırılmasını içerir. Diğer bir deyişle sistem; ayrı bölümlerden, alt birimlerden, alt

sistemlerden oluşur; bu parçalar arasında belirli ilişkiler vardır ve aynı zamanda dış çevre ile bağlantılı bir bütündür. Bu açıdan bakıldığında, sistem yaklaşımı, problemin tüm yönlerini genel bir bakış açısıyla dikkate alan ve problemin (veya olayın) farklı bölümleri arasındaki ilişkilere odaklanan problem çözme yaklaşımı olarak ifade edilebilir.

Kast ve Rosenzweig (1972), hedefler ve değerler, psikososyal, yapısal, teknik ve yönetsel alt sistemler dahil olmak üzere beş genel alandan oluşan bir örgütsel sistemin temsilini sağlar. Öncelikle ister üretim ister hizmet sektöründen bir kurum olsun, ortaya çıkması amaçlanan ürün veya hizmet, çeşitli alet-teçhizat, makine, ileri teknik mekanik-elektronik-dijital araç parklarına ihtiyaç duyar. İşin gerçekleştirilmesi için kullanılan en temel telefon veya tornavida, teknoloji alt sisteminin bir unsuru iken, gelişmiş robotik teknolojiler, coğrafi takip sistemleri vb.

İkinci olarak, sistemlerdeki en kritik teşhis alanlarından bazıları kurallar, kodlar, prosedürlerdir. Kurumsallaşmayı da sağlayan düzenlemeler, görev tanımları, organizasyon yapısı / şeması, yetki tanımları, operasyonel alt sistem olarak da adlandırılır. Yapısal alt sistem, şirketlerin kaynaklarının ürün veya hizmetlere nasıl dönüştürüleceğinin "ne" ile ilgili net açıklamalarından ortaya çıkan her türlü bilgi ve aracı içerir.

Üçüncü alt sistem olarak psikososyal boyut gelir ve genel olarak çalışan insanları ve özelliklerini kapsar. Çalışanların bilgi ve beceri düzeyleri, tutumları ve motivasyonları ve aralarındaki ilişkiler, organizasyon kültürü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir organizasyon içindeki bireylerin özellikleri, organizasyonun yapısal yönlerine göre şekillenir. Hem bireyin hem de birden fazla kişinin etkileşiminden kaynaklanan iklim bu alt sistemin bir parçasıdır.

Dördüncü alt sistem, örgütsel kültür, hedefler ve değerlerle ilgilidir. Örgütsel işleyiş için anlam ve yön sağlayan, somut ve soyut, resmi ve gayri resmi, kolektif ve bireysel olan her şeydir. Organizasyonun teknoloji, yapı, insanlar, grup ve kapsayıcı kültürü arasındaki bağlantıyı sağlayacak yönetim alt sistemidir. Yöneticilerin profilleri, liderlik stilleri, organizasyonun iklimine girdi, hedef belirleme, planlama, organizasyon, liderlik ve kontrol, temel yönetim fonksiyonlarını yerine getirirken yaratılan verimlilik ve verimlilik seviyesi organizasyon sisteminin merkezi bir bileşenidir.

Kuruluşlar, açık sistemler veya kapalı sistemler olarak tanımlanır. Ancak, en kapalı sistem bile dış ortamın etkilerini hesaba katmalıdır; kendi faaliyetleri de çevreye bir çıktı sağlar. Kuruluşun kendi sektörel çevresi, bulunduğu ülkenin yerel sosyal iklimi ve dünyanın bir parçası olarak uluslararası ortamdaki yeri, bir sistemin temel geçmişleridir. Politik, ekonomik, finansal, kültürel, teknolojik, sosyal, dini, ahlaki olan her şey organizasyonun dışındadır ve ilgili alt sistemlerin faaliyetlerini doğrudan veya dolaylı olarak

etkiler. Bu nedenle, böyle bir sistem yaklaşımına dayalı gelişmiş bir yönetim sistemi ile psikososyal tehlikelerin kaynaklarına örgütsel psikoloji perspektifinden bakmak mümkün olabilir.

## 3. Psikososyal Risk Yönetimi: ISO 45003

Tüm bu bilgilerle tutarlılık gösterecek bir gelişme ile iş yerlerinde psikolojik sağlık ve güvenlik, çalışanların uğrayabileceği psikolojik zararların önlenmesi için ISO 45003 uygulamaya kondu. ISO 45003, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) yönetim sistemi içinde psikososyal risk yönetimi için hazırlanmış bir kılavuzdur ve işletmelerde psikolojik sağlığın korunmasına yönelik temel ilkeleri sunmaktadır. Kuruluşların, çalışanlarının ve diğer ilgili tarafların, işin içeriği, yürütüldüğü sosyal koşullar, ilişki ve yönetim biçimleri gibi sosyal faktörlere bağlı olarak zarar görmesini engellemeyi amaçlar. Psikososyal riskler olarak isimlendirilen bu faktörleri kontrol altına almak, neticesinde ortaya çıkabilecek hastalıkları önlemek ve çalışanların psikolojik esenliğini ve iyilik halini garanti altına almak konusunda işletme yönetimlerini teşvik eder. Bu kılavuz ilkelerinin, sağlıklı ve güvenli işyerlerinin geliştirilmesi, uygulanması, devamlılığı ve sürekli iyileştirilmesi için her büyüklükteki ve tüm sektörlerdeki kuruluşlara uygulanması hedeflenmektedir. "İşverenlerin, çalışanlarının fiziksel ve psikolojik sağlığını korumakla yükümlü olduğu görüşünden hareket eden ISO 45003, bu konuyu yönetmek üzere önerilen dünyanın ilk uluslararası standardıdır.

ISO 45003, İş sağlığı ve güvenliği yönetimi – İşyerinde psikolojik sağlık ve güvenlik – Psikososyal risklerin yönetimine ilişkin kılavuz" başlığı ile yayımlanan bu rehber, çalışan sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi içerisinde psikolojik sağlık ve güvenlik risklerinin yönetimi konusunda rehberlik sağlamayı hedeflemektedir. İletişim sorunları, aşırı baskı ve iş yükü, zayıf liderlik ve organizasyon kültürü dahil olmak üzere bir çalışanın psikolojik sağlığını etkileyebilecek birçok alanı ele alır (Işık, 2021).

ISO 45003'ün, bir İSG yönetim sisteminin planlanması, uygulanması, gözden geçirilmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine ilişkin gereklilikleri ve rehberliği içeren ISO 45001 ile birlikte kullanılması amaçlanmıştır. ISO 45001, kuruluşun çalışan sağlığı ve güvenliğine dair sorumlulukları olduğunu vurgular. 45003, bu sorumluluk alanına, çalışanların psikolojik sağlıklarını geliştirmenin ve korumanın da girdiğini vurgulamaktadır. İSG yönetim sisteminin amacı çalışanların işle ilgili zarar görmelerini ve hastalıklarını önlemek ve güvenli ve sağlıklı işyerleri yaratmaktır. Psikososyal tehlikeler, işyerlerinde sağlık, güvenlik ve esenliği tehdit eden giderek daha kritik hale gelen zorluklara işaret etmektedir.

Psikososyal tehlikeler tüm organizasyonlarda ve sektörlerde ve her türlü görevde ve istihdam düzenlemelerinde mevcut olabilir. Dolayısıyla, metal, çelik ve döküm iş kollarında da

ele alınması gereken bir konudur. Psikososyal risk, psikososyal tehlikelerin bireysel sağlık, güvenlik ve esenlik ile kurumsal performans ve sürdürülebilirlik üzerinde doğurduğu sonuçlar ve bunların ortaya çıkma potansiyeli ile ilgilidir. Psikososyal risklerin, bir İSG yönetim sistemi aracılığıyla diğer İSG riskleriyle tutarlı bir şekilde yönetilmesi, kuruluşun iş süreçlerinin bütününe entegre edilmesi önemlidir.

Psikososyal tehlikelerin doğurabileceği sonuçlar arasında kardiyovasküler hastalıklar, kas-iskelet sistemi bozuklukları, diyabet, anksiyete, depresyon, uyku bozuklukları yer almaktadır. Madde kötüye kullanımı, sağlıksız beslenme gibi sağlıksız davranışları doğurabilir. İş tatmininin, üretkenliğin düşmesine ve kuruma bağlılığının zayıflamasına neden olabilir. Psikososyal riskleri yöneterek bu sorunları önlemek mümkündür.

Kuruluş ve çalışanlar, işyerinde sağlık, güvenlik ve refahı korumak ve geliştirmek için ortak bir sorumluluğa sahiptir. Sürecin tüm aşamalarında çalışanların katılımı, başta üst yönetim olmak üzere organizasyonun tüm düzeylerinden yönetimin taahhüdü ve liderlik, psikososyal risklerin yönetilmesinin başarısı için kritik öneme sahiptir.

ISO 45003, ayrıca;

- psikososyal riskler konusunda farkındalığın artırılması,
- psikososyal risklerin yönetiminde etkinliğin geliştirilmesi,
- psikososyal tehlikeye maruz kalan çalışanların iyileşmelerinin ve işe geri dönüşlerinin desteklenmesi,
- acil durumları planlama ve bunlara müdahale etmek için kuruluşların dikkate alması gereken önemli bilgiler hakkında da bilgiler içermektedir.

Dolayısıyla, Dünya çapında psikoloji sağlığa ilişkin koruyucu yaklaşımlar iş dünyası gündeminde kendisine bir yer buldu ve ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Standardı'na bağlı bir kılavuz uzun süren çalışmalar neticesinde hazırlandı. ISO 45003, bir uluslararası standardın geliştirilmesinde izlenen geliştirme yaşam döngüsünü tamamlanarak yayımlandı.

#### 4. Sonuç

"ISO 45003:2021 Occupational health and safety management — Psychological health and safety at work — Guidelines for managing psychosocial risks" [İş sağlığı ve güvenliği yönetimi – İş yerinde psikolojik sağlık ve güvenlik – Psikososyal risk yönetimi için kılavuz] ismini taşıyan bu standardın ismi dahi bize şu direktifleri sunuyor:

- Psikolojik sağlık**, mesleki sağlık ve güvenlik yönetimi sisteminin bir bileşeni olarak ele alınmalıdır; yönetilmelidir.
- Çalışanlar için fiziksel olarak güvenli koşulların yaratılmasının yanında **psikolojik olarak güvenli koşullar** yaratılmalıdır.
- Psikolojik güvenlik**, mesleki sağlık ve güvenlik yönetiminin bir bileşeni olarak ele alınmalıdır; yönetilmelidir.
- Çalışma yaşamında psikolojik sağlığı ve güvenliği tehdit eden her şey "**psikososyal risk**" olarak isimlendirilir. **Psikososyal riskler analiz edilmeli** ve bu riskler **yönetilmelidir**.
- Psikososyal risklerin yönetilmesi için bu **riski doğuran nedenler tespit edilmeli**, riskin **sonucunda ortaya çıkan psikolojik sağlık sorunları anlaşılmalıdır**. **Koruyucu ve iyileştirici çözümler** hayata geçirilmelidir.
- Herhangi bir olguyu yönetmek için şunlar gerekir:
  - Mevcut durum ölçülmelidir.
  - Hedefler belirlenmelidir.
  - Hedefe ulaşmak için izlenecek yollar ve çözümler hayata geçirilmelidir.
  - Bu çözümlerin sağladığı katkı izlenmeli ve ölçülmelidir.
  - İyileştirme alanları tespit edilerek, çözümlerin etkinliğini arttıracak uygulamalar hayata geçirilmelidir.
  - Bu süreç sürekli iyileşme sağlayacak şekilde sürdürülmelidir. **Böylece, odağımıza aldığımız konuyu yönetiyor oluruz.**

Psikososyal risklerin yönetilmesi için de aynı prensipler geçerlidir: Mevcut durumda, çalışanların kendilerini psikolojik olarak ne kadar sağlıklı ve güvende hissettikleri ölçülmelidir. Çalışanların psikolojik sağlıklarını ve güvenliklerini garantiye almak için hedefler belirlenmelidir. Bu hedefe ulaşmak için çözümler uygulamaya geçirilmelidir. Çözümlerin istenen sonuçları ne düzeyde sağladığı, çalışanların hayata geçirilen çözümlerle, psikolojik olarak sağlıklı ve güvende hissedip hissetmedikleri ölçülmelidir. Bu çözüm ve uygulamaların iyileştirilmesi gereken yönlerine gereken güncellemeler ve iyileştirmeler yapılmalıdır. Böylelikle bir işletme psikososyal riskleri yönetir hale gelecektir. Psikososyal risklerin yönetimine dair örneğin maden sektöründe yürütülen çalışmada olduğu gibi (Öz-Aktepe & Işık, 2021), metal, çelik, döküm sektöründe de çalışmalara başlanmalıdır.

#### Teşekkür

Bu bildiri şu yayınlardan derlenerek hazırlanmıştır:

- PRISMA-Psikososyal Risk Yönetimi Enstitüsü <https://www.prisma-enstitu.com/blog/> tarafından hazırlanan blog yazıları
- Doç.Dr. İdil Işık tarafından yazılan ve Artı Bülten'de 2021 yılında basılan "Çalışma Yaşamında Psikososyal Riskler ve Yönetilmesi" başlıklı makale ([https://www.academia.edu/51150917/%C3%87a1%C4%B1%C5%9Fma\\_Ya%C5%9Fam%C4%B1nda\\_Psikososyal\\_Riskler\\_ve\\_Y%C3%B6netilmesi](https://www.academia.edu/51150917/%C3%87a1%C4%B1%C5%9Fma_Ya%C5%9Fam%C4%B1nda_Psikososyal_Riskler_ve_Y%C3%B6netilmesi))
- Doç.Dr. İdil Işık tarafından 2019 yılında yazılmış olan bildiri ([https://www.academia.edu/42083158/EVALUATION\\_OF\\_PSYCHOSOCIAL\\_HAZARDS\\_IN\\_THE\\_MINING\\_INDUSTRY\\_Madencilik\\_Sekt%C3%B6r%C3%BCnde\\_Psikososyal\\_Tehlike\\_Kaynaklar%C4%B1n%C4%B1n\\_%C3%96rg%C3%BCT\\_Psikolojisi\\_Perspektifinden\\_De%C4%9Ferlendirilmesi](https://www.academia.edu/42083158/EVALUATION_OF_PSYCHOSOCIAL_HAZARDS_IN_THE_MINING_INDUSTRY_Madencilik_Sekt%C3%B6r%C3%BCnde_Psikososyal_Tehlike_Kaynaklar%C4%B1n%C4%B1n_%C3%96rg%C3%BCT_Psikolojisi_Perspektifinden_De%C4%9Ferlendirilmesi))

PRISMA Enstitü'ye, Artı Danışmanlık'a ve Maden Mühendisleri Odasına teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] Şahan, C., & Demiral, Y. (2019). The aspects of psychosocial risks prevention in a developing country: Turkey. *The Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 3, 30-34.
- [2] Leka, S., Jain, A., Widerszal-Bazyl, M., Żołnierczyk-Zreda, D., & Zwetsloot, G. (2011). Developing a standard for psychosocial risk management: PAS 1010, *Safety Science*, 49 (7), 1047-1057.
- [3] International Labour Organization (1986). *Psychosocial factors at work: Recognition and control*. Occupational Safety and Health Series no: 56.
- [4] İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 28512, Resmi Gazete Tarihi: 29.12.2012. T.C. Resmi Gazete, Ankara, 2012.
- [5] Işık, İ., Öz Aktepe, Ş., Çetin Özbudak, E., Ceylan, F., Kuzdağ, Y., Dönmez, A. (2022). Kömür madenlerinde psikososyal güvenlik çalışmaları: Maden mühendisleri ve iş güvenliği uzmanları gözünden nitel değerlendirme. *Sosyal Güvence*, 20, 592-622. <https://doi.org/10.21441/sosyalguvence.1026839>.
- [6] Kristensen, T.S., Hannerz, H., Høgh, A., Borg, V. (2005). The Copenhagen Psychosocial Questionnaire (COPSOQ) - a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment. *Scandinavian Journal of Work, Environment, & Health*, 3, 438-449.
- [7] Harrison, T.M. (1985). Communication and participative decision making: an exploratory study. *Personnel Psychology*, 1, 97-116.
- [8] Gadon, H. (1984). Making sense of quality of work life programs. *Business Horizons*, January-February, 42-46.
- [9] Saklani, D.R. (2003). Quality of work life: instrument design. *Indian Journal of Industrial Relations*, 38(4), 480-503.

- [10] Royuela, V., Tamayo, J. L., & Suriñach, J. (2007). *The Institutional vs. the Academic Definition of the Quality of Work Life, What is the focus of the European Commission?* Research Institute of Applied Economics, Working Papers 2007/13, Geneva: AQR-IREA Research Group, University of Barcelona.
- [11] World Health Organization (2010). *Healthy workplaces: a model for action for employers, workers, policy-makers and practitioners*. Geneva: WHO.
- [12] Burton, J. (2008). *The business case for a healthy workplace*. Mississauga, Canada: Industrial Accident Prevention Association.
- [13] Kast, F.E. and Rosenzweig, J.E. (1972) General Systems Theory: Applications for Organization and Management. *Academy of Management Journal*, 1972, 447-466.
- [14] TSE-Türk Standartları Enstitüsü (2018). *ISO 45001- İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Standardı*. Ankara: TSE Standart Hazırlama Dairesi Başkanlığı.
- [15] International Standards Organization (2021). ISO/FDIS 45003- Occupational health and safety management — Psychological health and safety at work — Guidelines for managing psychosocial risks. Erişim linki: <https://www.iso.org/standard/64283.html>
- [16] Işık, İ. (2021). Çalışma Yaşamında Psikososyal Riskler ve Yönetilmesi. *Artı Bülten Ocak-Nisan 2021*, 2-6.
- [17] Öz-Aktepe Ş., & Işık, İ. (2021). "Yukarıda Açlık Kesin, Aşağıda Ölüm Belki!" Ocakta Çalışmak Bir Tercih mi? "Hunger Above Is Certain, Death Below Maybe!" Is Underground Work a Choice? *REFLEKTİF Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 385-402. <https://doi.org/10.47613/reflektif.2021.36>.

## S&H Culture and Leadership Fundamentals



**Carlos MARTINEZ**

World Steel Association - Belgium

Eliminating fatalities and serious injuries is the number one priority for the global steel industry. Our focus at worldsteel is to provide our members and the industry in general with actionable recommendations and guidance to create safer and healthier working places.

Traditional practices and frameworks for safety and health have driven improvement and positively impacted injury reduction in the steel industry; the injury rate per million hours worked has decreased by 82.3 % over the past 15 years (2006-2020) . Despite this improvement, serious injuries and fatal events do still occur.

Our members are increasingly concluding that an evolution in approach is needed and more effective assumptions need to be made.

In 2022 worldsteel is publishing a new set of fundamentals to enhance culture and leadership in the steel industry.

During this session Carlos Martínez, Head,Safety and Health at worldsteel, will share an overview of these new fundamentals.

## İSDEMİR İSG Uygulamaları ve "Her Şey Elimizde" Çalışması

İSDEMİR OHS Applications & Everything is in Our Hands for Safety



**Emre SEVİNDİK**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

The companies which give priority to Occupational Health and Safety applications where corporate culture formed with understanding of human perform various activities in order to maintain the quality of the activities and to protect their employees from accidents and occupational diseases. Although establishment of the Occupational Health and Safety Management System is the basis of this activities, it is needed to provide the sustainability of this system, to review regularly and to report.

İsdemir; while executing its production has acquired firstly human principle as policy to their employees to maintain their activities in a healthy way. With the help of this; firstly the Standard of TS ISO 45001 Occupational Health and Safety Applications System has been set up and with the help of this system many other systems enacted. In this context in our facilities at each units OHS Meetings ( Sub Committees ) , Announced and Unannounced Safety Tours, Emergency Exercises, 5S systematics etc. are applied besides Directorate of OHS's expert staff of daily field determinations and non -conformities are sent to relevant departments to get improved. While applying on those systematics, the determined opened areas to get improved are followed within the plans. In our facilities due to the follow -up of this recovery plan of improvements, created meeting minutes,scenarios etc . for easy Access to reports by our employees, for the improvements to be notified to the relevant staff to be notified without losing time and to facilitate the relevant collection of statics and to able to get the required reports The OSH Systematics Tracking Application Software is in the use of Our employees since 2012. This software programme ensures the convenience of our established OHS systematics sustainability to our employees.

Mass death events in our country proves that OHS studies should be given more importance. Therefore OHS activities should be controlled tightly and the companies should develop these activities at all levels of their working area instead of only meeting the requirements of OHS legislation. Today it is obligatory to be provided of the OHS systematics for every companies to ensure the sustainability of OHS activities.

The importance of the personal OHS approach is extremely important in the prevention and reduction of occupational accidents and the prevention of unsafe behaviors. Therefore, the slogan "Everything is in Our Hands for Safety" has been shared throughout the enterprise in order to develop a proactive OHS approach and contribute positively to the OHS climate. The slogan "Everything is in Our Hands for Safety" was constantly pronounced by all employees and spread throughout the field.

### ÖZET

İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarına öncelik veren, önce insan anlayışı ile kurum kültürü oluşmuş kuruluşlar, işyerlerinde iş kazası ve meslek hastalıklarından çalışanlarını korumak, verimli ve kaliteli bir şekilde faaliyetlerini sürdürebilmek amacıyla çeşitli faaliyetler gerçekleştirmektedirler. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi oluşturulması bunların temelini oluşturuyorsa da kurulan bu vb. sistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamak, düzenli olarak gözden geçirilmesi ve takip edilip raporlanması gerekmektedir.

İsdemir, üretimini gerçekleştirirken çalışanlarının sağlıklı bir ortamda faaliyetlerini sürdürebilmesi için "Önce İnsan" anlayışını ilke edinmiştir. Bu kapsamda öncelikle TS ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi kurulmuş ve bu sistem ile birlikte birçok iş güvenliği sistematiikleri yürürlüğe konulmuştur. Bu kapsamda işletmemizdeki tüm ünitelerde İSG Kurul Toplantıları (Ünite, Alt Kurul), Haberli ve Habersiz Güvenlik Turları, Acil Durum Tatbikatları, 5S vb.

sistematipler uygulanmakta olup, bunlar ile birlikte İş Güvenliği ve Çevre Müdürlüğü'ne ait uzman personelin Günlük Saha Tespitleri ve Uygunsuzlukları ilgili birimlere düzeltilmesi

amacıyla gönderilmektedir. Tüm bu sistematipler uygulanırken tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar planlar dâhilinde takip edilmektedir. Bu iyileştirme planlarının takibi, oluşturulan toplantı tutanakları, senaryo vb. raporlara çalışanlar tarafından kolaylıkla erişim, iyileştirmeler ile ilgili sorumlu personele vakit kaybedilmeden bildirimde bulunulması ve kapsamlı olarak tespitler ile ilgili istatistik ve gerekli raporların alınabilmesi amacıyla "İSG Sistematipleri Takip Uygulaması" adlı yazılım programı 2012 yılından bu yana tüm çalışanlarımızın kullanımındadır. Bu yazılım programı, kurulan İSG Sistematiplerimizin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından çalışmalarımıza kolaylık sağlamaktadır.

Ülkemizde son yıllarda yaşanan toplu ölümler, İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarına ne kadar da önem verilmesi gerektiğini her geçen gün daha da kanıtlar niteliktedir. Bu nedenle İSG faaliyetlerinin ülke bazında sıkı bir şekilde denetlenmesi, işletmelerin yasal mevzuat gerekliliklerini karşılamak yerine İSG faaliyetlerinin gerekliliğine tüm kademelerde inanarak ve destek vererek çalışmalarına devam etmeleri gerekmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği faaliyetlerinin, sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak için de çalışmaları kolaylaştıracak sistemler geliştirilmesi artık günümüzde her işletme için zaruri durum olmaktadır.

İsdemir'deki iş kazaları ve ramaklar incelendiğinde ön plana çıkan el-parmak kazalarının indirgenebilmesi için çalışmalar organize edilmiş, "Her Şey Elimizde" sloganı içe hareket edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İş Sağlığı ve Güvenliği Sistematipleri

## İSDEMİR'DE UYGULANAN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ SİSTEMATİKLERİ

İsdemir, "Önce İnsan" ilkesini sürdürebilmek için TS ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi'nden yararlanmakta olup, bu kapsamda faaliyetlerimizin güvenli bir şekilde yürütülmesi için birçok sistematiplik uygulanmaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde ünitelerimize yardımcı olan bu önemli sistematiplerimiz;

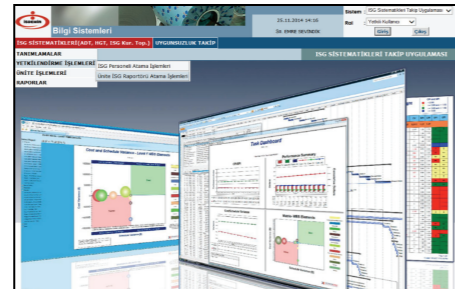
- İsdemir ve Ünite İSG Kurul Toplantıları
- Başmühendislik/Şeflik İSG Alt Kurul Toplantıları
- Genel ve Ünite İçi Haberli\_Habersiz Güvenlik Turları
- 5S Denetlemeleri

- İsdemir Acil Durum Yönetim Sistemi Çalışmaları, Acil Durum Tatbikatları
- Risk Değerlendirme Çalışmaları
- İSG Eğitimleri
- Olay/Uygunsuzlukların Değerlendirilmesi
- İsdemir Kaza Paylaşım Sunuları
- Kaza İnceleme ve Ramak Kaldı Raporları
- Koruyucu Malzeme Komisyon Çalışmaları
- Gaz Hatları ve Kapalı Alanlar, Alt Yapı ve Radyografi Çalışma İzinleri
- Ünite Uygunsuzluk Tespitleri
- Dünya Çelik Birliği(WSA) İSG Anketi Uygulaması
- Güvenlik Yönetim Sistemi Çalışmaları (Seveso\_Büyük Endüstriyel Kazalar Önleme)
- Patlamadan Korunma Çalışmaları
- Yangın Algılama, İhbar ve Söndürme Sistemleri Çalışmalarıdır.

Bu sistematipler uygulanırken tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar planlar dâhilinde takip edilmektedir. Bu iyileştirme planlarının takibinin yanı sıra, oluşturulan toplantı tutanakları, senaryo vb. raporlara çalışanlar tarafından kolaylıkla erişim, iyileştirmeler ile ilgili sorumlu personele vakit kaybedilmeden bildirimde bulunulması ve kapsamlı olarak tespitler ile ilgili istatistik ve gerekli raporların alınabilmesi amacıyla "İSG Sistematipleri Takip Uygulaması" adlı yazılım programının yapılması ihtiyacı doğmuştur.

## İSG SİSTEMATİKLERİ TAKİP UYGULAMASI

2012 Yılından itibaren İSG Sistematiplerimizden "İSG Kurul Toplantıları, Acil Durum Tatbikatları, Haberli\_Habersiz Güvenlik Turları, Günlük Saha Denetimleri Sırasında Tespit Edilen Uygunsuzluklar İle Ünitelerimize Gönderilen Uygunsuzluk Raporları" SSO İSG Takip Sistematipleri Uygulaması üzerinden takip edilmektedir.

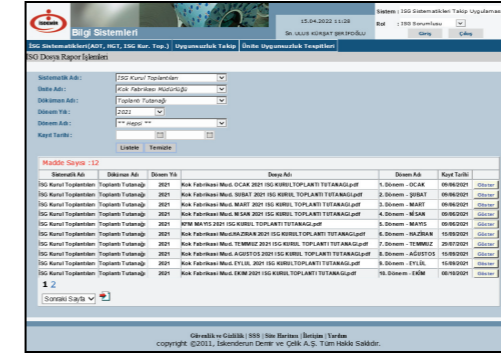


Yetkilendirme İşlemi\_Sayfa Görüntüsü

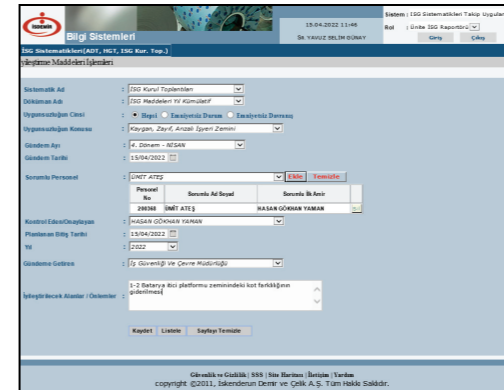
İSG Kurulu olan tüm ünitelerde İSG Sistematipleri uygulanmakta olup, öncelikle ünitelerde uygulanan

İSG Sistematiplerinin Ünite Sorumluları tarafından takip edilebilmesi, güncellenmesi amacıyla Ünite İSG Raportörleri belirlenmiş, ayrıca Müdür, Başmühendis, Mühendis, Vardiya Amiri gibi diğer pozisyonlara da izleyici rolleri tanımlanmıştır.

Belirlenen Ünite İSG Raportörleri tarafından İSG Sistematipleri ile ilgili tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar sisteme girilmekte, ayrıca bu sistematipler ile ilgili dosyalar(rapor ve tutanaklar) sisteme yüklenebilmektedir.

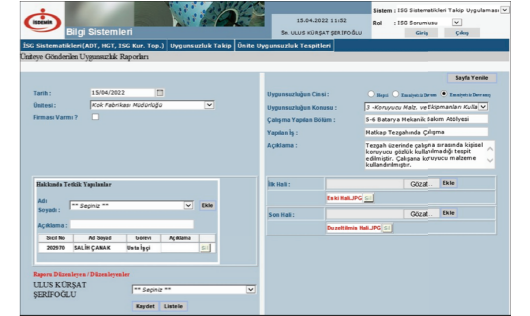


Sisteme Yüklenen Dosyalar\_Sayfa Görünümü

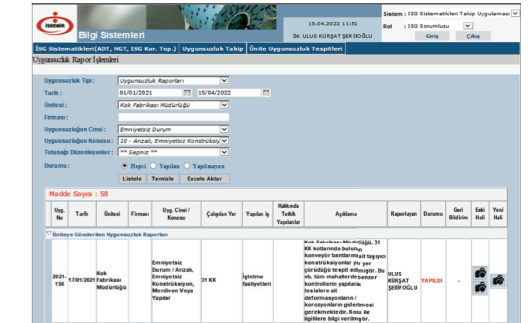


Tespit Edilen İyileştirmeye Açık Alanların Sisteme Girilmesi\_Sayfa Görünümü

Bu program vasıtasıyla İş Güvenliği ve Çevre Müdürlüğü personeli tarafından sahalarda tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar, uygunsuz durum ve davranışlar her gün sisteme kapsamlı olarak (uygunsuzluğun eski\_yeni hali, yeri, tipi, emniyetsiz durum\_davranış biçimi, hakkında tetkik yapılan kişi vb. kriterler) girilmektedir.

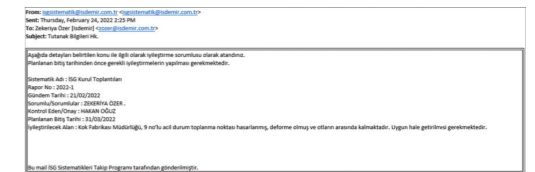


İş Güvenliği Müdürlüğü, Günlük Saha Tespitlerinin Sisteme Girilmesi\_Sayfa Görünümü



Uygunsuzluk Rapor İşlemleri\_Sayfa Görünümü

Sisteme girilen İSG Kurul, Haberli\_Habersiz Güvenlik Turları, Acil Durum Tatbikatları, Günlük Saha Denetim Raporları, Uygunsuzluk Rapor maddeleri ile ilgili iyileştirmeler ilgili birim sorumlularına otomatik olarak bildirilmektedir. Ayrıca kullanıcılar tespit edilen iyileştirmeye açık alanlar ile ilgili istatistikleri sistemden rapor olarak alabilmektedirler.

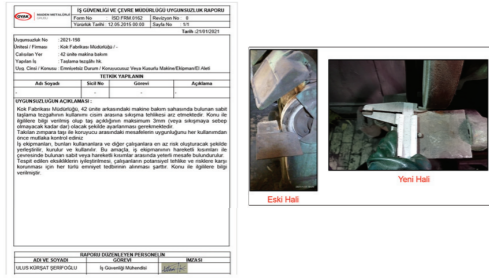


Uygunsuzluk Tespiti Sonrasında Atanan Sorumluya Giden Mail Örneği

İSG No	Tarih	Ünite	İşletme	Uyg. Sorumlusu	Tespit Edilen Uygunsuzluk	Yapılan İşlem	İyileştirme Durumu
2022-01-01	15.04.2022	100	İSG Kurul	...	...	...	...
2022-01-01	15.04.2022	100	İSG Kurul	...	...	...	...
2022-01-01	15.04.2022	100	İSG Kurul	...	...	...	...

Uygunsuzluk Rapor İşlemleri, Raporların Excel Formatında Sistemden Çekilmesi





Uygunsuzluk Rapor İşlemleri, Raporun Sistemden Alınması\_Sayfa Görünümü

Yukarıda bahsedilen faaliyetlerimizin yanı sıra, 2014 yılında uygulamaya başladığımız; Çalışanlarımızın sahada tespit ettikleri İSG Uygunsuzlukları sistematığımız ile Dünya Çelik Birliği'ne(WSA) bağlı tüm şirketlerde gerçekleşen ölümlü iş kazalarına sebep olan ilk 5 neden ile ilgili(Hareketli Ekipmanlar, Yüksekten Düşmeler, Cisim Düşmeleri, Gaz tehlikesi ve patlamalar, Vinçler) düzenlemiş olduğumuz, farklı gözlerin tespit yapması amacıyla işletme ünitelerimiz dışından denetçilerin seçilerek gerçekleştirdiğimiz, tüm sahalarımızı kapsayan Güvenlik turu İSG Anketi uygulaması sırasında tespit edilen iyileştirme maddelerinin de var olan takip uygulamamızın içerisine alınma çalışmaları devam etmektedir.

İş kazalarının önlenmesi ve azaltılmasında, emniyetsiz davranışların önlenmesinde, kişisel İSG yaklaşımının önemi son derece önem arz etmektedir.



Bu nedenle, proaktif İSG yaklaşımının geliştirilmesi ve İSG iklimine pozitif katkı sağlamak için tüm işletme genelinde "Her Şey Elimizde" sloganı paylaşılmıştır. "Her Şey Elimizde" sloganı tüm çalışanlar tarafından sürekli olarak telaffuz edilerek saha genelinde yayılımı sağlanmıştır.

## SONUÇ

"İSG Sistematiği Takip Uygulaması", TS ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi ve ilgili mevzuatlar kapsamında mevcut olan İş Güvenliği Sistematiğimizin takip edilmesi, raporlanması,

ilgili birimlerin bilgilendirilerek yapılması gereken iyileştirmelerin vakit kaybedilmeden yapılması açısından çalışmalarımıza kolaylık sağlamaktadır.

İşyerlerinde iş kazası ve meslek hastalıklarından çalışanlarını korumak, İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarına öncelik vermek isteyen kuruluşların, İş Sağlığı ve Güvenliği faaliyetlerini, sistemlerini sürdürülebilirlik için çalışmalarını kolaylaştıracak sistemler geliştirmesi önem arz etmektedir.

## Sürdürülebilirlikte İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliğinin Sürdürülebilirliği: Demir Çelik Sektörü Örneği

Occupational Health and Safety in Sustainability, Sustainability of Occupational Health and Safety: Iron&Steel Industry Example



Elif SUNGUR

Maltepe Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

Sustainability of working life and reaching the future by providing a decent work environment is one of the important topics of discussion. Sustainability has economic, ecological and social components. The concepts of continuity and sustainability also represent different perspectives. While continuity offers a shorter-term perspective, sustainability requires a long-term perspective. Since the most important feature of sustainability is to continue activities without consuming (destroying) resources, the first resource that should not be consumed is employees. Ensuring and developing working within the health and safety that is the right of the employees is considered as the sustainability of occupational health and safety (OHS).

While the sustainability of OHS in iron and steel enterprises is presented together with the conceptualization of safety culture, on the other hand, the level of OHS in the sustainability studies carried out in iron and steel enterprises operating in Turkey has been investigated by examining the sustainability reports of the companies. Accordingly, it has been determined that two of the eleven largest organizations of the sector in terms of tonnage capacity do not publish reports, four of them publish short information on their websites, and OHS parameters are included in the sustainability reports of five organizations.

### Özet

Çalışma yaşamının sürdürülebilirliği, insana yakışır iş ortamının sağlanarak geleceğe ulaşmak önemli tartışma konularından biridir. Sürdürülebilirliğin ekonomik, ekolojik ve sosyal bileşenleri bulunmaktadır. Süreklilik ve sürdürülebilirlik kavramları da birbirinden farklı bakış açılarını temsil eder. Süreklilik daha kısa vadeli bir bakış açısı sunarken, sürdürülebilirlik uzun vadeli bir bakış açısını gerektirir. Sürdürülebilirliğin en önemli özelliği, kaynakları tüketmeden (yok etmeden) faaliyetlere devam edebilmek olduğuna göre, tüketilmemesi gereken kaynakların ilki çalışanlardır. Çalışanların hakkı olan sağlık ve güvenlik içinde çalışmanın sağlanması ve geliştirilmesi sağlık ve güvenliğin (İSG) sürdürülebilirliği olarak ele alınmaktadır.

Bildiride demir çelik işletmelerinde İSG sürdürülebilirliği güvenlik kültürü kavramsallaştırmasıyla birlikte sunulurken diğer yandan Türkiye'de faaliyet gösteren demir çelik işletmelerinde yürütülen sürdürülebilirlik çalışmalarında İSG'nin ne düzeyde yer aldığı şirketlerin sürdürülebilirlik raporları incelenerek araştırılmıştır. Buna göre sektörün tonaj kapasitesi bakımında en büyük on bir kuruluşunun ikisinin rapor yayınlamadığı, dördünün web sitelerinde kısa bilgi yayınladığı, beş kuruluşun sürdürülebilirlik raporlarında İSG parametrelerinin yer aldığı saptanmıştır.

### 1. Giriş

İşletmeler ilişkide olduğu tüm paydaşlarla sorumlu ilişkisi içindedir. Farklı platformlardaki paydaşlara yönelik oluşan bu sorumluluklar, çevresel kaynakların korunması, insan haklarının korunması, iş ahlakı ve etik kurallara uyum, çalışanların hakları vb. olarak çeşitlenir. Çalışanların refah ve güvenliğini sağlamak işletmelerin sorumlulukları arasında belki de en önemlisi, vazgeçilmez olanıdır. Önemli olan, çalışanlar için insana yakışır iş ortamını sağlama ve refahı artırma, çalışanların sağlığını, güvenliğini geliştirme ve can sağlığı ile yarınları ulaşmalarını sağlamaktır.

Bu bakış açısına göre işletmeler için iş kazası ve meslek hastalığı olmadan, can kaybı yaşamadan çalışmaların devam etmesini sağlamak önemli ve değerli, ancak yeterli olmayan bir hedeftir. Sağlık ve güvenliğin çalışanların refahı, işin kalitesi, kurumun itibarı için geliştirilmesi, insana yakışır iş ortamının sağlanması gereklidir. Bu arayış, kural odaklı güvenlikten (rule based safety) insan odaklı güvenliğe (managed safety) doğru bir gereksinim yaratmaktadır. İnsan odaklı güvenlik yaklaşımının özü çalışan katılımı ve bağlama odaklı oluşudur. Geline nokta işletmeler için otoritenin emri altındayken işi güvenli yapmak yetmez, çalışanların katılarak, sahip çıkarak bütüncül bir güvenlik kültürünü yaşaması sağlanmalıdır.

### 2. Sürdürülebilirlik ve İş Sağlığı & Güvenliği

Gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin günümüz kuşaklarının ihtiyaçlarını

karşılayabilecek bir kalkınma modeli olan "sürdürülebilir kalkınma" 20. yüzyıl sonlarına doğru dünya gündemine girmiş ve 1990'lı yıllarda imzalanan uluslararası antlaşmalarla küresel bir uygulama planı haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma anlayışı, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişme hedeflerinde ortak paydayı "sürdürülebilirlik" olarak belirlemektedir. Geleceği de sahiplenen bu ortak hedef, herkesin temel ihtiyaçları ile daha iyi bir hayata ilişkin beklentilerinin karşılanmasına imkân vermeye yöneliktir. Bu çerçevede Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından açıklanan Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)-Sustainable Development Goals-, yoksulluğu ortadan kaldırmak, gezegenimizi korumak ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısıdır. 2030 yılında ulaşılması planlanan SKA'lar on yedi başlık altında toplanmış ve 169 hedefle [1] detaylandırılmıştır.

### 2.1. İSG ile İlişkili Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

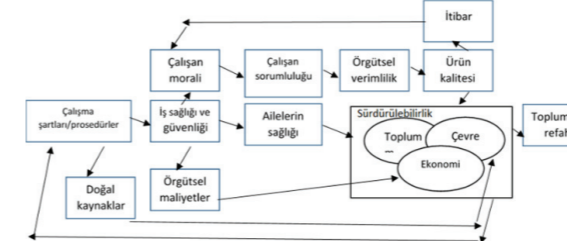
On yedi SKA kapsamında yer alan üçüncü, sekizinci ve on altıncı SKA'lar "sağlık ve refah", "insana yakışır iş ve ekonomik büyüme", "etkin, şeffaf ve hesap verebilir kurumsallaşma" on birinci Kalkınma Planı dönemi kapsamında İSG açısından görevlendirilmiş bir uzmanlık komisyonu tarafından İSG alanındaki uygulamalarla doğrudan desteklenmesi gereken amaçlar olarak belirlenmiştir [2]. Sekiz numaralı amaç; "İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme"dir. Bu amaç için kesintisiz, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümenin, tam ve üretken istihdamın ve herkes için insana yakışır işlerin desteklenmesi hedeflenmekte, yoksulluğun ancak düzenli ve iyi ücret veren istihdam sayesinde yok edilebileceği, yaklaşık 2,2 milyar insanın 2 USD olarak belirlenen aşırı yoksulluk sınırının altında gelir elde etmesine ilişkin realite bu hedefe ilişkin nedenselliği oluşturmaktadır [1]. Bu hedefe bağlı olarak İSG çalışmaları açısından bir bağlam oluşturan "kesintisiz olarak çalışma, çalışabilme", "çalışma karşılığı kazanılan ücret"e dikkat çekilmektedir. Bu husus teknik bir bakış açısıyla bakılırsa ilk anda bir İSG konusu gibi görünmeyebilir ancak "iş güvencesi" ve "ücret", çalışanlar açısından psikososyal risk faktörleri oluşturabilecek konular arasında gelmektedir. Üç numaralı amaç; "Sağlık ve kaliteli yaşam"dır. Bu amaç için sağlıklı ve kaliteli yaşamı her yaşta güvence altına almak hedeflenmekte, herkesin sağlıklı yaşamının güvence altına alınması ve her yaşta mutluluğun desteklenmesinin refah toplumlarının inşası için önemi belirtilmektedir. Bu amaç için özellikle öneleyici sağlık hizmetlerini ve aşıları yaygınlaştırılabilir öne çıkarılmakta, önlemenin maliyeti ile önlemenin maliyeti karşılaştırıldığında katlanılacak mali ve sosyal bedellerin ağırlığına dikkat çekilmektedir. Bu amaca bağlı olarak oluşturulan hedeflerden biri de trafik kazalarından meydana gelen ölümleri azaltabilmektir. On altı numaralı amaç; "Barış, adalet ve güçlü kurumlar-etkin, şeffaf ve hesap verebilir kurumsallaşma"dır. Bu amaç için barışçıl ve kapsayıcı toplumların desteklenmesi, herkes için

adalete erişimin sağlanması ve her düzeyde etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumların inşası hedeflenmektedir. İSG Çalışma Grubu tarafından hazırlanan raporda konuya ilişkin strateji ve politika hedefleri belirlenmiştir. Bu raporun sonuç ve değerlendirme bölümünde çalışma hayatımızdan yeterli düzeyde verim alabilmenin en temel ihtiyaçlarından biri sağlıklı ve güvenli işyerleri oluşturmak olduğu belirtilmekte, sağlıklı ve güvenli işyerlerinin tüm çalışanların aynı bilinçle çalışmaları, işverenlerin de İSG prensiplerinden taviz vermemesi ile mümkündür" saptaması yapılmaktadır. Güvenlik olmadan sürdürülebilir üretimin olamayacağı, çalışan sağlığı ve güvenliğinin işletmeler için bir öncelik değil, bir değer olduğunu söylemek mümkündür.

### 3. Çevresel, Sosyal ve Yönetişim Faktörleri İle Kurumların Operasyonel Performansları Arasındaki İlişki

Çevresel, sosyal ve yönetişim (ÇSY) -Environmental, Social, Governance- faktörlerinin şirketlerin değer yaratma modellerine ve şirket raporlarına entegre edilmesinin önemi konusunda giderek artan bir uzlaşma olsa da halka açık şirketler ve raporlama standartlarını geliştiren kuruluşlar henüz ÇSY faktörlerinin şirket açıklamaları ve raporlarında nasıl ele alınacağı ve kapsanacağı konusunda ortak bir yaklaşım geliştirmemişlerdir. Ölçüm konusundaki zorluklar ve şirketlerin maruz kaldığı pek çok ÇSY riskinin için yapısının bu konuda ilerlemeye engel teşkil ettiği söylenebilir [3]. Ölçüm zorluklarına karşın, bazı meta analiz çalışmalarının ortaya koyduğu kanıtlar göz önüne alındığında, ÇSY faktörlerinin işletmelerin operasyonel performansı ile pozitif ilişki içinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan birinde literatür değerlendirilmiş, incelenen 49 makalenin 43'ünde (% 86) şirketlerin operasyonel performansı ile ÇSY faktörleri arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmaya göre eğer iyi yönetilirse sürdürülebilirliğin sosyal boyutunun genel olarak kurumsal finansal performans üzerinde olumlu bir etkisi olduğu belirtilmektedir [4]. Bu araştırma dizisinde eksik olan, diğer kurumsal sosyal davranış türlerinin doğrudan kanıtlarıdır. Örneğin, şirketlerin yükselen pazarlardaki çalışan sağlığı ve güvenliği standartları, insan haklarına saygılılığı ve sosyal sorumluluğu gözetilen reklam kampanyaları gibi.

2200 araştırma yayınının incelendiği bir başka meta analiz çalışması da benzer ve genelleştirilebilir sonuçlar vermektedir. Buna göre, çalışmaların yaklaşık %90'ının ÇSY ile kurumsal finansal performans arasında negatif olmayan bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmaların büyük çoğunluğunda ise bu ilişki olumlu olarak tespit edilmektedir. Bu çalışmada yazarlar ÇSY'nin şirket finansal performansı üzerindeki olumlu etkisinin zaman içinde kalıcı olduğu sonucuna varmışlardır [5]. Şekil 1'de sunulan iş sağlığı ve güvenliği, çevre ve sürdürülebilirlik gelişme ilişkisi şemasında çalışan sağlığı ve iş güvenliğinin verimlilik ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği, Çevre ve Sürdürülebilirlik İlişkisi [6]

Ekonomik büyüme, sosyal kalkınma ve çevre koruma arasında bir denge sağlamaya çalışırken, sürdürülebilirliğin operasyonel hale getirilmesini anlamak zor olabilir. Nawaza ve arkadaşlarının çalışmasında [7] sürdürülebilirlik ve güvenlik arasındaki ilişki kabul edilirse, sürdürülebilirliğin operasyonelleştirilmesinin daha iyi anlaşılacağı savunulmakta ve şu sorular yanıtlanmaya çalışılmaktadır: (i) güvenliğin göz ardı edilmesinin sürdürülebilir kalkınma için nasıl olumsuz sonuçları olabilir; (ii) emniyetle ilgili girişimlerin sürdürülebilirliğin operasyonelleştirilmesini nasıl desteklediği ve (iii) tasarım aşamasında güvenliğin entegrasyonunun nasıl sürdürülebilir kalkınmanın anahtarı olabileceği. Bu çalışmanın da sonuçları, güvenlik ve sürdürülebilirliğin yakından bağlantılı olduğunu doğrulamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutları iyileştirilmesiyle İSG'nin iyileştirilmesi ile ilgili olarak güvenilir hale geleceğini öne süren Jilcha ve Kitaw, İSG inovasyonunun sürdürülebilir kalkınmayı garantileyeceğini savunmaktadır [8]. Bu çalışmada, İSG inovasyonunun sağlıklı insanlar, daha güvenli işyeri, daha düşük kaza maliyeti, kontrollü çevre, yönetilen işyeri kazaları ve iyileştirilmiş işyeri güvenliği bilgisi yoluyla sürdürülebilir kalkınma getirdiği ortaya koyulmaktadır.

### 4. İSG'nin Sosyal Sorumluluk ve Kurumsal İtibarla İlişkisi

Kurumsal itibar işletme içinde ve dışında yer alan paydaşların işletme hakkındaki değer yargılarının toplamıdır. İşletmeler için kurumsal itibar artışı, artan rekabet gücü anlamına gelir ki; bu artış direkt işletme paydaşlarının işletmeye olan bağlılıklarının artışıyla ilişkilidir.

ISO 26000 Sosyal Sorumluluk Yönetim Sistemi standardının yayınlanmasıyla, standart biri işgücü uygulamaları olmak üzere yedi temel konuyu gündeme getirmiştir. İş gücü uygulamaları, en yüksek düzeyde fiziksel, zihinsel ve sosyal sağlığın teşviki ve sürdürülmesi ile ilgili olan İSG'ni içerir ve işçilerin refahı ve çalışma koşullarından kaynaklanan sağlığa zararların önlenmesine odaklanır. Kurumsal Sosyal Sorumluluk (KSS), araştırma ve uygulamalarında İSG ile bağlantılıdır. İSG, şirketlerin

performansını ölçmek için kullanılan göstergelerden biri olduğundan, KSS'nin de önemli bir yönüdür.

Uğur ve arkadaşlarının [9] Avrupa'da İSG'nin yasal düzenlemelerin ötesinde sosyal sorumluluk kapsamında değerlendirildiğini, İSG konusunun çevre, aile ve toplum bağlamında da ele alındığını tespit ettikleri onbir KSS çalışmasının İSG'ye kattığı değerlerden İSG'nin yalnızca bedensel sağlık olarak ele alınmadığı, çalışanın psikolojik sağlığını korumaya ve ortaya çıkan sorunları çözmeye yönelik uygulamaların olduğu, çalışanların iş-yaşam dengesini korumanın önemli olduğu, çalışanlar için rekreasyon olanakları oluşturulduğunu belirledikleri çalışmada Corporate Social Responsibility and Safety and Health at Work başlıklı rapor [10] çalışmaya dayanak olmuştur.

Yönetim sistemleri ve sertifikasyon planları, hesap verebilirlik ve raporlama çerçeveleri ve derecelendirme endeksleri, kurumları ana endişelerinden biri olan kurumsal itibarlarını etkilemektedir. İyi bir itibar yönetiminin, kuruluşların gelecekteki başarısı için kritik olduğuna dair görüşler ağırlıklıdır. İlke beyanlarının İSG referanslarını içermesi önemlidir, çünkü bu, İSG'nin diğer yönetim araçlarına (derecelendirme endeksleri ve hesap verebilirlik ve raporlama çerçevelerine) dahil edilmesini sağlar. Sonuç olarak, bu derecelendirmelerde iyi bir şekilde sınıflandırılmak isteyen firmalar bu enstrümanları kullanmalıdır. Kullanılan bu yönetim sistemleri İSG'ni geliştireceğinden, kurumun bu konuları yönetimi makul bir şekilde geliştirecektir. Bu araçların her biri itibara ayrı bir katkı sağlar [11]

Nagata'nın [12] Japon şirketlerini incelediği araştırmasına göre KSS raporlarında İSG faaliyetlerinin açıklanma oranı kademeli olarak artmış ve 2012'de %2,7 düzeyinde gerçekleşmiştir. KSS raporlarının odak noktası ise kademeli olarak çevreden İSG dahil sosyal aksiyonlara kaymıştır. Şirketlerin çoğu KSS raporlamasında İSG'ye daha fazla önem vermektedir.

Dinler [13] Türkiye'de Fortune 50 listesinde bulunan şirketlerin sürdürülebilirlik raporlarını incelediği çalışmada, İSG konularında yaptıkları çalışmalara raporlarında yer veren on bir işletme saptamıştır. Bu şirketlere güvenlik kültürü perspektifinden bakıldığında, İSG konularında kayıt, raporlama ve paylaşıma yönelik bilgi sistemlerinin olmasını yönetimin taahhüdünü yerine getirmesi ve şeffaflık/hesap verebilirlik [14] gibi güvenlik kültürü göstergelerini sağladıkları söylenebilir. Sürdürülebilirlik konusundaki insan kaynakları uygulamalarını ele alan çalışmalarında Vatansver ve arkadaşları, Ehnert'in ortaya koyduğu unsurları kullanarak öncü şirketlerde insan kaynaklarının sürdürülebilirliğine ilişkin neler yapıldığını ve insan kaynakları yönetimi fonksiyonları ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi sorgulamışlardır. İncelenen dokuz özel sektör kuruluşunda çalışanlar üzerindeki negatif etkilerin azaltılması kategorisinde en fazla uygulama örneğine sahip olan olarak İSG; iş kazaları, yaralanmalar ve ölümcül kazalar riskini azaltma alt kategorisi dikkat çekmektedir [15]

## 5. Demir Çelik Sektörü Örneği: Sürdürülebilirlik Çalışmalarında İSG

2019 yılı itibarıyla Türk Çelik Sektörü, dünyada sekizinci sırada, Avrupa'daki çelik üreticileri arasında Almanya'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır [16] Sektör, 45.000 kişiye istihdam sağlamaktadır. Demir-çelik sektörünün başını çektiği ve temel olarak NACE 24 faaliyet sınıflamasında yer alan Çelik boru, Döküm, Alüminyum, Bakır, Galvaniz sektörü aktörlerinin de yer aldığı ana metal sektörü; Makine, Otomotiv, Elektronik, Kimya, Savunma, Havacılık, Madencilik ve Ulaşım sektörlerine temel girdi ve hammadde sağlamaktadır. Ülkemizde, 2018 yılında 37.3 milyon ton olan ham çelik üretimi yaklaşık % 9,6 oranında düşüşle, 2019 yılında 33.7 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'de faaliyet gösteren demir çelik işletmelerinin sürdürülebilirlik raporlaması yapıp yapmadıklarını bakıldığında sektörün tonaj kapasitesi bakımında en büyük on bir kuruluşunun ikisinin konuyla ilgili rapor ya da her hangi bir içerik yayınladığı, dört kuruluşun web sitelerinde konuyla ilgili politika metni, yapılan çalışmalar vb. hakkında kısa içerikler yayınladığı, beş kuruluşun ise geniş içerikli sürdürülebilirlik raporları yayınladıkları saptanmıştır.

Rapor yayınladığı belirlenen kuruluşların üçü ise BIST Sürdürülebilirlik Endeksinde yer almaktadır [17].

İncelenen ilk kuruluşun 2020 yılını kapsayan dokuzuncu kez yayınladığı raporunda Global Reporting Initiative'in – Küresel Raporlama Girişimi-(GRI) standartları temel seçeneğine uygun olarak GRI önemlilik, paydaş katılımı, sürdürülebilirlik bağlamı ve bütünlük prensiplerine ek olarak, Dünya Çelik Birliği'nin (World Steel Association) Sürdürülebilir Çelik Üretimi Performans Göstergelerini ve Uluslararası Finans Kurumu'nun (IFC) Sürdürülebilirlik Performans standartlarının dikkate alındığı görülmektedir. Sürdürülebilirlik konuları matrislerinde İş sağlığı ve güvenliği en üst seviyede konumlandırıldığı, değer zinciri sürdürülebilirlik etkileri arasında iş sağlığı ve güvenliğinin sayıldığı, 2020 yılında çalışanlara kişi başı, 12.07 saat İSG eğitimi verildiği, İSG performansına yönelik verilere raporun 'Sosyal Performans Göstergeleri' bölümünde yer verildiği belirlenmiştir [18].

İncelenen ikinci ve üçüncü kuruluşun sahiplik yapısı nedeniyle üst kurum tarafından GRI standartlarına göre hazırlanan 2021 yılı Entegre Faaliyet Raporu'nda Borsa İstanbul'da (BIST) işlem gören ve kurumsal sürdürülebilirlik performansları üst seviyede olan şirketlerin bulunduğu Sürdürülebilirlik Endeksi'ne ilk kuruluşun endekste ilk çelik üreticisi olarak Kasım 2015'te girdiği ve aralıksız 2021 yılı da dahil olmak üzere endekste yer aldığı, diğer kuruluşun ise değerlendirmeye tabi tutulduğu Kasım 2019'dan itibaren Borsa İstanbul Sürdürülebilirlik Endeksi'nde yer aldığı belirtilmektedir. İlk kurumun ilgili rapor içinde "Sürdürülebilirlik İlkeleri Uyum Raporu"na yer

verdiği, ilk kurumun çalışan başına 21 saat, diğer kurumun ise 28,3 saat İSG eğitim verdiği görülmektedir [19] İncelenen dördüncü kuruluşun 2020'de ikinci kez sürdürülebilirlik raporu yayınladığı, GRI standartları temel seçeneğine uyumlu bir rapor sunduğu, aynı zamanda BIST nezdindeki Sürdürülebilirlik Endeksinde ilk kez yer aldığı, çalışan başına 34,6 saat İSG eğitimi verildiği görülmektedir [20].

İncelenen beşinci kuruluşun 2019 yılına ait sürdürülebilirlik raporunda sürdürülebilirlik matrisinde İSG yüksek önem derecesinde konumlandırılmış, İSG eğitimlerinin dönem içinde sürdürüldüğü belirtilmişse de çalışan başına verilen eğitim saati bilgisi paylaşılmamıştır [21].

## 6. Sonuç

Araştırmada Türkiye'de faaliyet gösteren otuz beş çelik üreticisinden en yüksek üretim kapasitesine sahip on birinin sürdürülebilirlik raporları hazırlayıp hazırlamadıkları, sürdürülebilirlik raporu hazırlayanların ise raporlarında İSG'nin yer alma durumu incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre incelenen on bir çelik üreticisinin beşinin en az bir kez sürdürülebilirlik raporu yayınladığı, rapor yayınlayanlardan dört kuruluşun en az Küresel Raporlama Girişimi-GRI standartları temel düzeyine uygun şekilde rapor sunduğu, en uzun süredir raporlama yapan kuruluşun dokuzuncu kez rapor yayınladığı belirlenmiştir. Kuruluşların İSG konulu çalışmalarının sürdürülebilirlik raporlarında farklı düzeylerde yer aldığı, kaza sıklık ve ağırlık oranları gibi re-aktif (gecikmeli) göstergelerin yanında İSG eğitimleri gibi pro-aktif performans göstergelerine de raporlamalarında farklı düzeylerde ve detayda yer verdikleri tespit edilmiştir.

Bu bulgular değerlendirildiğinde sürdürülebilirlikte İSG'nin az da olsa rapor içeriklerinde yer almaya başladığını, İSG'nin sürdürülebilirliğinin ise demir-çelik şirketlerinde halihazırda gündemde olmadığını söylemek mümkündür. Şirket yönetimleri, çalışanlara güvenliklerinin şirket için ne kadar önemli olduğunu gösterdiklerinde çalışanların sadakati ve çalışmaya dönük moralleri artacak, çalışanlar kendilerine iyi bakıldığını bilirlerse çalıştıkları şirkete daha iyi bakacaklardır. Böyle bir durumda sürdürülebilir çalışma ve refah toplumuna ulaşma gayesine bir adım daha yaklaşılabilecektir.

## Referanslar

- [1] U. Demircan, B. Derin ve O. Yücel, Materials Research Bulletin, 42 (2007) 312-318.
- [2] A. Turan, F. C. Sahin, G. Goller ve O. Yucel, Spark Plasma Sintering of TiB<sub>2</sub> Ceramics, 13<sup>th</sup> Conference of the European Ceramic Society (ECerS XIII), 23-27 Haziran 2013, Limoges, Fransa.
- [3] W. G. Davenport, M. King, M. Schlesinger ve A. K. Biswas, Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon, 2002, Oxford, Birleşik Krallık.

[4] D. Sherman, D. Brandon, Mechanical Properties and their Relation to Microstructure, Ed. R. Riedel, Handbook of Ceramic Hard Materials, Wiley-VCH, 2000, Weinheim, Almanya.

[5] M. Buğdaycı, Krom Nikel İçeren Demirli Alaşımların Metalotermik Yöntemle Üretiminde Tufal Kullanımının Etkisi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2014, İstanbul, Türkiye.

[6] <http://www.metal-powder.net> Tarih: 11.12.2015.

[1] https://www.kureselamaclar.org/amaclar/insana-yakisir-is-ve-ekonomik-buyume/. [Çevrimiçi] UNDP. Tarih: 02.04.2022

[2]11. Kalkınma Planı İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışma Grubu Raporu. Ankara : T.C Kalkınma Bakanlığı, 2018. YAYIN NO: KB: 3045 - ÖİK: 826.

[3] Douma, K., Dallas, G. 2019. Yatırımcıların Şirketlerin ÇSY Raporlamasına İlişkin Gündemi. İstanbul : PRI-Principles for Responsible Investment, 2019.

[4] Clark, G.L., Feiner, A., Viehs, M. 2014. From the Stockholder to the Stakeholder How Sustainability Can Drive Financial Outperformance. The Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford, 2014.

[5] Gunnar, F., Busch, T., Bassen, A. 2015. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000. Journal of Sustainable Finance & Investment. 2015, Cilt Vol. 5, No. 4, 210–233.

[6] Zohreh M., Napsiah, I. 2014. The relationship between occupational safety, health, and environment, and sustainable development: a review and critique. Int. J. Innovation Manage. Technol., 2014, Cilt 5 , (3).

[7] Nawaza, W., Linke, P., Koç, M. 2019. Safety and sustainability nexus: A review and appraisal. Journal of Cleaner Production. 2019, Cilt 216, Pages 74-87.

[8] Jilcha, K., Kitaw, D. 2017. Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development. Engineering Science and Technology, An International Journal. Volume 20, Issue 1, 2017, Pages 372-380.

[9] Uğur, A., Sönmez Çalış, Ö.A., Çolakoğlu, C. 2016. Kurumsal Sosyal Sorumluluk ve İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları. 2016, s. 84-92.

[10] European Agency for Safety and Health at Work. 2004. Corporate Social Responsibility and Safety and Health at Work. Belgium, : European Agency for Safety and Health at Work, 2004. p.110.

[11] Cioca, Lucian-I., Moraru, Roland-I. 2010. The Importance Of Occupational Health And Safety In The Framework Of Corporate Social Responsibility. Management of Sustainable Development Journal. 2010, Cilt Issue 2, Vol:2.

[12] Nagata, T., Nakata, A., Mori, K., Maruyama, T., Kawashita, F., & Nagata, M. 2017. Occupational safety and health aspects of corporate social responsibility reporting in Japan from 2004 to 2012. BMC public health. 17(1), , 2017, Cilt 1-11.

[13] Dinler, G. 2018. Sürdürülebilirlik ve İnsan Kaynakları Yönetimine Yansımaları. Tekirdağ : Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Ünivesitesi, 2018.

[14] Molenaar, Keith R., Park, Jeong-II ve Washington, Simon. 2009. Framework For Measuring Corporate Safety Culture And Its Impact On Construction Safety Performance. 2009, s. 488-496.

[15] Vatanserver, Ç., Kılıç, N., Dinler, G. 2018. Çalışanların Sürdürülebilirlik Davranışları ve Sürdürülebilir Çalışma Yaşamı İçin İnsan Kaynakları Yönetimi: Türkiye'den İki Kesit. İstanbul Management Journal. 5 Mart 2018, s. 7-39.

[16] Sanayi Genel Müdürlüğü. DEMİR ÇELİK SEKTÖR RAPORU. basım yeri bilinmiyor : T.C Kalkınma Bakanlığı, 2020.

[17] BIST Sürdürülebilirlik Endeksi Aralık 2020 - Ekim. https://www.borsaistanbul.com/tr/duyuru/3218/bist-surdurulebilirlik-endeksi-aralik-2020-ekim-2021-donemi-sirketleri-belli-oldu. www.borsaistanbul.com.tr. [Çevrimiçi] Tarih: 11.04.2022

[18] İçdaş Sürdürülebilirlik Raporu, 2020.

[19] Erdemir Entegre Faaliyet Raporu, 2021.

[20] Kardemir Sürdürülebilirlik Raporu, 2020.

[21] Baştuğ Sürdürülebilirlik Raporu, 2019.

## ESR Prosesinin, Orta Karbonlu Bir Mühendislik Çeliğinin Çelik Temizliği ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Effect of ESR (Electroslag Remelting) Process on The Steel Cleanliness and Mechanical Properties of Middle Carbon Engineering Steels at Asil Celik

◆  
Bertan PARMAKSIZOĞLU<sup>1</sup>, Burak EKİN<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

The electroslag remelting (ESR) technology is one of the techniques used in the tertiary metallurgy processes based on refining and solidification of precast ingots by remelting them under a special characterized slag. ESR process provides better control of the solidification microstructure and chemical homogeneity. It also enables greater cleanliness and better mechanical properties. The manufactured products with a controlled chemical composition are used in aerospace, special tools, thermal and nuclear power plants, chemical engineering equipments, etc. The result of the higher cleanliness levels and segregation free macrostructure allow the producers to design stronger and improved fatigue life materials under higher stresses and cyclic loads. Asil Celik has started to tertiary metallurgy processes with 16 tons capacity remelting furnace in ESR plant. An overview to basics of the ESR process and comparison of metallurgical properties for hot rolled Ø120 mm semi-finished product produced with and without ESR technique, are presented in this paper.

### Özet

Elektro cüruf yeniden eritme (ESR) teknolojisi, ingotların özel bir cüruf altında yeniden ergitilerek rafine edilmesi ve katılaştırılmasına dayanan, üçüncül metalurji proseslerinden biridir. ESR prosesi, katılaşma yapısının ve kimyasal homojenitenin daha iyi kontrol edilmesi ile birlikte daha yüksek çelik temizliği ve daha iyi mekanik özellikler sağlamaktadır. Kontrollü bir kimyasal bileşime sahip ürünler, takım çelikleri, uzay ve havacılık, özel aletler, termik ve nükleer santraller, kimya endüstrisi enerji üretimi vb. alanlarda kullanılmaktadır. Daha yüksek çelik temizlik seviyesi ve segregasyon içermeyen malzeme iç yapısı üreticilerin daha dayanıklı ve yüksek yorulma ömrüne sahip malzemeleri tasarlamalarına olanak tanımaktadır. Asil Çelik, üçüncül metalurjik işlemlere 16 ton kapasiteli yeniden ergitme ocağı ile ESR tesisinde başlamıştır. Bu çalışmada ESR prosesinin temel prensipleri ile ESR'li ve ESR'siz koşullarda, orta karbonlu bir mühendislik çeliğinden üretilen 120 mm çapındaki uzun yarı mamulün, iç yapısının ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması sunulmuştur.

### 1. Giriş

Günümüzde çelik üretim teknolojisi, konvansiyonel yöntemler ile üretilen ingot ve kütüklerin iç yapısının daha temiz ve homojen bir yapıda olması için çoğu uygulamada kabul edilebilir bir seviyeye ulaşmıştır. Buna rağmen kritik uygulamalarda kullanılacak çeliklerin üretiminde, elektrik ark ocağı ve pota ocağı işlemleri sırasında uygulanan deoksidasyon işlemleri ve döküm esnasında uygulanan reoksidasyonu önleyici aksiyonlar, gerekli olan metalurjik özellikleri sağlayabilmek için yeterli gelmemektedir. İngot / Sürekli döküm prosesi sırasında sıvı metalin dış etkenler nedeni ile reokside olması çeliğin inklüzyon miktarında artışa neden olabilecek risklerden biri olduğu da bilinmektedir. Diğer bir ifade ile ikincil metalurji prosesleri ile ingot/sürekli döküm teknikleri kritik parça üretiminde kullanılacak malzemelerin içyapı temizliğini ve katılaşma yapısını belirli bir noktadan daha ileriye götürmemektedir. Çelik üretim teknolojisi bu gelişim sürecinde çelik malzemenin mekanik özelliklerini ve dolayısı ile performansını etkileyen makro ve mikro boyutlu inklüzyonların azaltılması, istenmeyen gazların giderilmesi segregasyon göstermeyen ve porozite içermeyen katılaşma yapısı üzerinde çalışmaktadır. Özellikle segregasyon kaynaklı bantlı yapılar, malzemede mekanik özellikleri olumsuz etkileyen anizotropiye neden olmaktadır. İkincil metalurjik işlemlerin ve döküm tekniklerinin teorik çelik temizliği ve katılaşma yapısında daha iyi bir noktaya ulaşamayacak olması yeniden ergitme tekniklerini içeren üçüncül metalurjik işlemlere olan ihtiyacı doğurmuştur. ESR prosesi, yönlü katılaşma yapısı ile ingotlarda karşılaşılan segregasyonu büyük oranda azaltırken, mevcut makro boyutlu kalıntıları tamamen gidermektedir. Mikro ölçekli kalıntılar ise büyük oranda azaltılarak üretilmiş olan ESR ingotu yapısına homojen olarak dağıtılmaktadır. Sonuç olarak ingot döküm ve sürekli döküm ürünlerine göre çok daha homojen bir kimyasal bileşim katılaşma yapısı ve çok daha düşük miktarda kalıntı içeren bir malzeme üretilmiş olmaktadır. Aynı zamanda elde edilen ingot daha ince tane yapısındadır. Şekil 1'de ESR prosesinin çeşitli malzeme özellikleri üzerine etkisi gösterilmektedir. [1]. ESR prosesinin sağladığı bu üstün malzeme özellikleri bu yöntem

ile üretilen malzemelerin üst düzey ve kritik amaçlarda kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerin kullanıldığı bazı endüstri alanları ve malzeme grupları aşağıda şekilde belirtilmektedir.

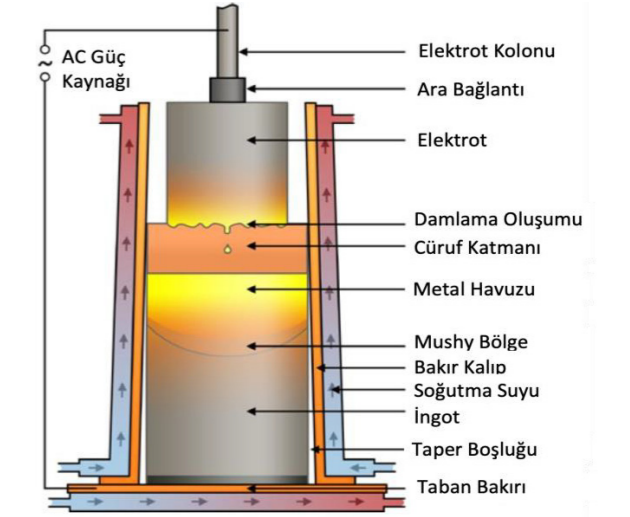
- Uzay ve Havacılık teknolojisi,
- Kimya endüstrileri için çelikler,
- Sıcak ve soğuk iş takım çelikleri,
- Cam, plastik ve otomotiv endüstrileri için kalıp çelikleri,
- Yüksek alaşimli paslanmaz çelikler,
- Türbin ve jeneratör şaftları için çelik,
- Rulman ve bilye çelikleri, aşınmaya dayanıklı yüksek performans ve yüksek hız çelikleri.
- Nükleer ve denizcilik uygulamaları için özel alaşım ve çelikler.

Özellikler	Daha Kötü	Aynı	Daha İyi	Çok Daha İyi
<b>İngot Kalitesi</b>				
Porozite			←→	
Yüzey			←→	
Metal Verimi			←→	
<b>Kimyasal Kompozisyon</b>				
Temel Elementler		←→		
Hidrojen		←→		
Oksijen			←→	
Kükürt			←→	
Cu, Zn, Sn vb.		←→		
<b>Saflik Derecesi</b>				
Mikroskopik			←→	
Makroskopik			←→	
<b>İngot Yapısı</b>				
Blok Segregasyon			←→	
Mikro Segregasyon		←→		
<b>Mekanik Özellikler</b>				
Sertlik		←→		
Çekme Dayanımı		←→		
Tokluk			←→	
Izotropi			←→	

Şekil 1. ESR Prosesinin çelik özellikleri üzerine etkisi [1].

ESR prosesi ikincil metalurjik işlemlerden geçirilerek üretilmiş kütük veya ingotların özel bir cüruf içinden geçirilerek yeniden ergitilmesi ile gerçekleştirilir. Yeniden ergitilecek bu kütük veya ingotlar ESR prosesinin girdi malzemesi olup elektrot olarak adlandırılmaktadır. Yeniden ergitme işlemi sırasında ergitilmiş çeliğin rafinasyonu ve katılaştırılması eş zamanlı olmaktadır. Üzerinden belirli bir akım geçirilen elektrot, su soğutmalı bakır bir kalıp içerisinde özel karakteristikte bir sıvı cürufa daldırılmaktadır. Cüruf elektriksel direnci sebebiyle ısınarak ergir ve ardından ergimiş cürufa daldırılmış elektrot damlamalar şeklinde ergimeye başlamaktadır. Sıvı cüruf içerisinden geçen metal damlalarında bulunan kalıntılar sıvı cüruf havuzunda kısmen veya tamamen çözünmektedir. Ergiyen metal damlaları cüruf katmanını geçerek yeni oluşan metal havuzuna ulaştığında rafine edilmiş olur ve bu damlacıkların cüruf altında oluşturduğu sıvı metal havuzu kalıpta yönlü şekilde katılaşarak yeni ESR ingotunu oluşturmaya başlamaktadır. (Şekil 2). Bu işlem elektrot tükenene kadar devam etmektedir. Proses sonunda elektrot

kesitine göre daha büyük kesitli ESR ingotu üretilmiş olmaktadır.

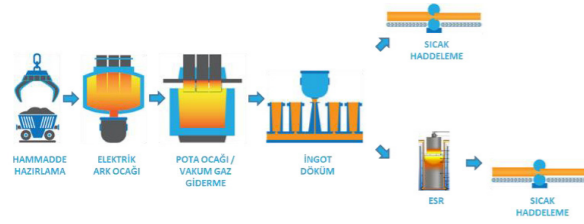


Şekil 2. ESR Prosesinin temel teknik şeması [2].

Asil Çelik'te bulunan 16 ton kapasiteli ESR ocağı son teknolojik sistemlerle donatılmıştır. Ergitme işlemi reoksidasyonun önlenmesi amacı ile argon atmosferi altında gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte min. 410 mm ve max. 1000 mm çaplarında olmak üzere 5 farklı kesitte ESR ingotu üretilmektedir. Üretilen ürün grupları arasında sıcak iş, soğuk iş ve plastik takım çelikleri, düşük ve yüksek karbonlu paslanmaz çelikler ile mühendislik çeliklerinin büyük bir bölümü yer almaktadır.

### 2. Deneysel Çalışmalar

Asil Çelik'te üretimi gerçekleştirilen orta karbonlu mühendislik çeliğinin, ESR prosesi uygulanmış ve uygulanmamış ingotlarından üretilen 120 mm çaplı uzun mamullerde kimyasal kompozisyon, segregasyon, mikro temizlik, çekme, çentik ve sertlik testleri ile mikroyapı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ESR'li ve ESR'siz malzemeler arasında kıyaslanarak ESR prosesinin malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Testleri gerçekleştirilen malzemeler aynı döküme ait olup sırasıyla ark ocağı, pota ocağı, vakumda gaz giderme ve ingot döküm istasyonlarında ikincil metalurjik işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 3). Üretilen ingotlardan biri direkt olarak sıcak haddeleme işlemine tabi tutulmuş diğeri ise ESR prosesi sonrasında final ölçü olan Ø120mm kesite haddelenmiştir.



Şekil 3. Kıyaslaması yapılan malzemelerin üretim süreçleri.

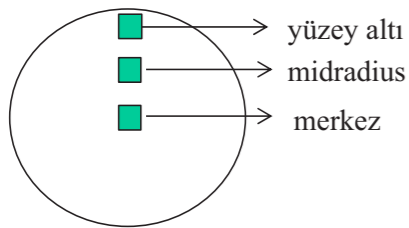
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Ø 120 mm yuvarlak kesite haddelenen ingotların kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. C, S, N, O, H analizleri Leco cihazı ile diğer element analizleri Optik Emisyon Spektrometresi ile yapılmıştır. Kimyasal kompozisyonlarda belirgin farklılıklar görülmemesine rağmen ESR üretiminde toplam oksijen değerinde %30 oranında bir azalma görülmektedir.

Tablo 1. Aynı döküme ait ESR'li ve ESR'siz malzemelerin kimyasal analizleri.

Numune	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N (ppm)	O (ppm)	H (ppm)
ESR' siz	0,30	0,21	0,50	2,96	0,90	0,280	75	16	0,56
ESR' li	0,30	0,21	0,51	3,00	0,93	0,285	80	11	0,85

Ø 120 mm olarak haddelenmiş çubuklardan alınan dilim numunelerden Şekil 5'te gösterildiği gibi yüzeyaltı, midradius ve merkez bölgelerinden inceleme yapılmıştır. Alınan bu numunelerde kimyasal kompozisyon taraması ile segregasyon olup olmadığı incelenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bölgeler arası kimyasal kompozisyon değişiminde kayda değer bir fark her iki malzeme arasında gözlemlenmemiştir.



Şekil 4. Yüzey altı, midradius ve merkez bölgeleri için numunelendirme örneği.

Tablo 2. Yüzey altı, midradius ve merkez numunelerinin kimyasal kompozisyonları.

Numune	Bölge	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
ESR' siz	Kenar	0,30	0,21	0,51	2,98	0,92	0,284
	Midradius	0,30	0,21	0,50	2,96	0,90	0,280
	Merkez	0,29	0,20	0,50	2,93	0,90	0,282
ESR' li	Kenar	0,30	0,21	0,51	2,98	0,92	0,283
	Midradius	0,30	0,21	0,51	3,00	0,93	0,285
	Merkez	0,31	0,21	0,50	2,98	0,91	0,282

Mikrotemizlik sonuçları ASTM E 45 Metot-A standardına göre incelenmiş olup sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. ESR'li malzemenin çok daha az sayıda ve boyutta inklüzyon içermesi sonucunda mikrotemizlik seviyesinin çok daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 3. ASTM E45 - Metot A Mikrotemizlik sonuçları.

Numune	A-Tipi		B-Tipi		C-Tipi		D-Tipi	
	İnce	Kalın	İnce	Kalın	İnce	Kalın	İnce	Kalın
ESR' siz	1,50	0,50	1,5	1,0	0	0	1,00	0,50
ESR' li	0,5	0	0,16	0	0	0	0,50	0

Alınan numunelere boyuna ve enine yönde TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme ve TS EN ISO 148-1 standardına göre çentik testleri uygulanmış olup mekanik test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Haddelenme yönüne paralel (boyuna) yönde yapılan testlerde ESR'li ve ESR'siz malzeme arasında önemli bir fark görülmemiştir. Ancak haddelenme yönüne dik (enine) yönde yapılan testlerde ESR'li malzemenin % Kesit daralması ESR'siz malzemeye göre %19, -40°C sıcaklıktaki darbe direnci ise %38 oranında daha yüksektir. Bu sonuçlar ESR uygulamasının malzemenin izotropik özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir.

Tablo 4. Mekanik test sonuçları.

Numune	Bölge	Çekme				Çentik
		Rp 0,2	Rm	% Uzama	% Kes. Dar.	-40°C'de
ESR' siz	Boyuna	994	1142	21	66,9	112,7
ESR' siz	Enine	970	1125	13	45,6	50
ESR' li	Boyuna	936	1088	21,4	67,7	119,3
ESR' li	Enine	926	1093	14	54,4	69,3

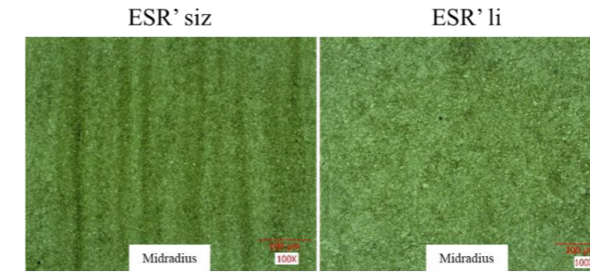
Numunelerin yüzey altı, midradius ve merkez bölgelerinden Brinell yöntemi ile sertlik ölçümü yapılmıştır. (Tablo 5.) ESR'li malzemenin tüm kesit boyunca sertlik dağılımı aynı

olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar malzemede homojen bir katılma ve kimyasal analiz dağılımını göstermektedir.

Tablo 5. Brinell sertlik değerleri.

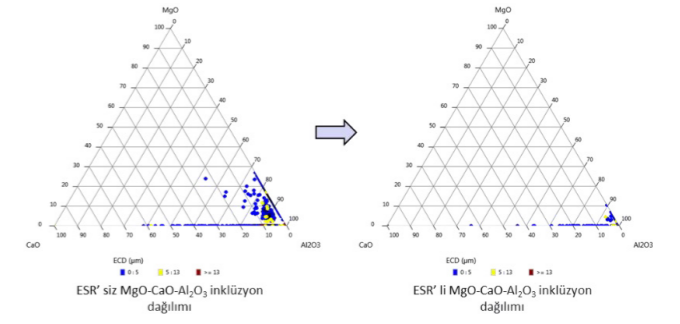
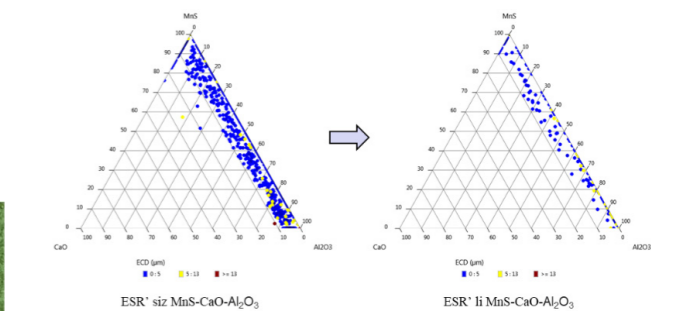
Bölge	ESR' siz	ESR' li
Yüzey altı	352	341
Midradius	346	341
Merkez	343	341

Yüzey altı, midradius ve merkez numunelerinde yapılan ve Şekil 5'de 100X büyütmede OM görüntüleri verilen mikroyapılar incelendiğinde her iki numunenin yoğunlukla temperlenmiş martenzit fazından oluştuğu görülmektedir. (Malzemeler QT işlemi görmüştür) ESR'siz numunede merkeze doğru segregasyon bantları gözlemlenirken ESR yapılmış malzemede herhangi bir segregasyon bantlaşması görülmemiştir. Mikroyapının çok daha homojen olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Mikroyapı görüntüleri.

- SEM-EDX analizlerinde ESR'li ve ESR'siz malzemelerin inklüzyon tipleri ve boyutları karşılaştırılmıştır. Analiz yapılan alan her iki numunede de 29,41mm<sup>2</sup>'dir ve 500X büyütmede gerçekleştirilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de tespit edilen mikro inklüzyonların miktarı ve kimyasal kompozisyon dağılımları, ESR'siz ve ESR'li olarak, MgO-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MnS-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üçlü faz diyagramlarında gösterilmiştir. Tablo 6'da ise toplam inklüzyon adedi ve inklüzyon boyut dağılımı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. ESR işlemi toplam inklüzyon sayısını %46 oranında azaltırken 13 mikron üzerindeki inklüzyonları ise tamamen gidermiştir. Literatürde çelik içinde bulunan 5 mikron altı inklüzyonların malzeme performansını önemli ölçüde etkileyecek kadar kritik olmadığı belirtilmektedir.

Şekil 6. ESR' siz ve ESR' li numune CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO mikro inklüzyon dağılımı.Şekil 7. ESR' siz ve ESR' li numune CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MnS mikro inklüzyon dağılımı.

Tablo 6. Mikro inklüzyon boyut dağılımları ve ESR işlemi sonrası değişimleri.

İnküzyon Ebatı ECD (µm)	ESR' siz	ESR' li
	İnküzyon, % Dağılım	% Değişim
0-5	%98	-%47
5-13	%1,7	-%22
≥ 13	%0,3	-%100

### 4. Sonuç

ESR prosesinin orta karbonlu bir mühendislik çeliğinin mikrotemizlik, katılma yapısı ve mekanik özellikler üzerine etkisi ESR'li ve ESR'siz olarak üretilen 120 mm kesitli mamul üzerinde incelenmiştir. Buna göre,

- ESR prosesinin çelik kimyasal kompozisyonunda bir değişim meydana getirmediği görülmüştür.
- ESR uygulanmış malzemenin toplam oksijen değerlerinin ESR'siz malzemeye göre %30 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

- ESR'siz malzemelerde özellikle merkezde orta derecede mikro segregasyon görülürken, ESR prosesinden geçirilmiş malzemelerde mikro segregasyona rastlanmamıştır.
- Enine ve boyuna yönde yapılan mekanik testler sonucunda boyuna yönde ölçülen mekanik değerlerde ESR'li ve ESR'siz malzemeler arasında bir fark gözlenmez iken enine yönde uygulanan çekme ve çentik sonuçlarına göre ESR'li malzemenin kesit daralması ESR'siz malzemeye göre %19 daha yüksektir. -40°C'deki çentik darbe direnci ise ESR'siz malzemeye göre %38 daha yüksek olarak ölçülmüştür.
- ESR'li ve ESR'siz üretilen 120 mm çubuklardan alınan dilimlerin yüzey altı, midradius ve merkez bölgelerinden yapılan sertlik ölçümlerinde, ESR'li malzemelerin tüm kesit boyunca sertlik değerleri 341 HB olarak ölçülürken ESR'siz malzeme sertlik değerleri yüzeyden merkeze doğru sırasıyla 352, 346, 343 HB olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ESR'li malzeme yapısının çok daha homojen olduğunu göstermiştir.
- SEM altında yapılan detaylı mikrotemizlik incelemelerinde ESR'siz malzemedeki toplam inklüzyon sayısı ESR'li malzemede %46 oranında azalmıştır. Ayrıca ESR'siz malzemede 13 mikron üzerinde tespit edilen inklüzyonlar ESR'li malzemede bulunmamaktadır.

#### Referanslar

[1] Arh, B., Podgornik, B., & Burja, J. (2016). Electroslag remelting: A process overview. *Materials in Tehnologije*, 50(6), 971–979. <https://doi.org/10.17222/mit.2016.108>

[2] N. Giesselmann, A. Rückert, M. Eickhoff, H. Pfeifer, J. Tewes, J. Klöwer, Coupling of Multiple Numerical Models to Simulate Electroslag Remelting Process for Alloy 718, *ISIJ Int.* 55 (2015) 1408–1415. doi:10.2355/isijinternational.55.1408

## Dry, Hot, Closed Circuit Cooling in Electric Arc Furnace and Off-Gas System Water Cooled Panels

Elektrik Ark Ocağı ve Toz Toplama Boru Panellerinde Kuru, Sıcak ve Kapalı Devre Soğutma



**Emrecan SABUNCU**

Diler Iron and Steel - Türkiye

#### Abstract

The recirculating cooling water in the Electric Arc Furnace (EAF) and off-gas system tube panels is generally cooled down by means of "wet, cold, open circuit" cooling systems in Turkish meltshops. This article aims to explain the basic benefits those can be obtained by preferring "dry, hot, closed circuit" cooling systems, in terms of water conservation, energy efficiency, maintenance costs and environmental effects.

#### 1. Introduction

##### 1.1. Wet and Dry Cooling

In "Wet Cooling" applications, the cooling work is mainly performed by evaporation of water itself. To extract heat from the water, the main target in design of the cooling tower is to provide proper evaporation circumstances by direct contact of cold air stream and hot water stream. Evaporation rate (by the way cooling performance) of the tower is directly related to the humidity of ambient air. So "direct contact evaporative cooling towers" near the water temperature to "wet bulb temperature" of ambient air, and therefore generally called as "wet coolers".



Figure 1. (Direct contact evaporative coolers) Wet coolers

In "Dry Cooling" applications, since there is no direct contact between the hot water and the cold air streams, evaporation does not occur. The heat is transferred from water to the tube walls in the tube bundles by conduction

and to ambient air by convection. So the cooling capacity depends on the "dry bulb temperature" of ambient air. In other words, dry coolers near the water temperature to "dry bulb temperature" of ambient air.



Figure 2. (Air cooled water coolers) Dry coolers

##### 1.2. Cold and Hot Cooling

Literally, water cooling systems are called "Cold Cooling" systems if water temperatures are below 60°C in the cooling tower. Cooling systems with water temperatures over 60°C are called "hot cooling" systems.

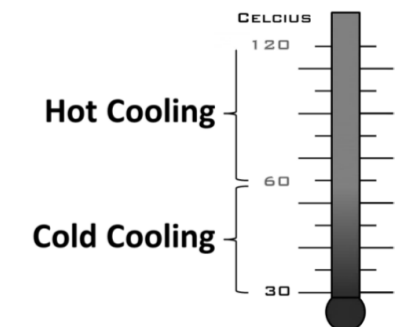


Figure 3. Cold and Hot Cooling

##### 1.3. Open And Closed Circuit Cooling Systems

The main difference between an "open circuit" and a "Closed Circuit" cooling system is the meeting of

recirculating water with atmospheric pressure. In a "Closed Circuit" cooling system, recirculating water does not meet atmospheric pressure in any part of the recirculation lines. The only exception for "Closed Circuit" systems may be connection of an elevated expansion tank, which have an opening to atmosphere. Elevated tanks serve as a thermal expansion compensator and they build up a static pressure on the circuit.

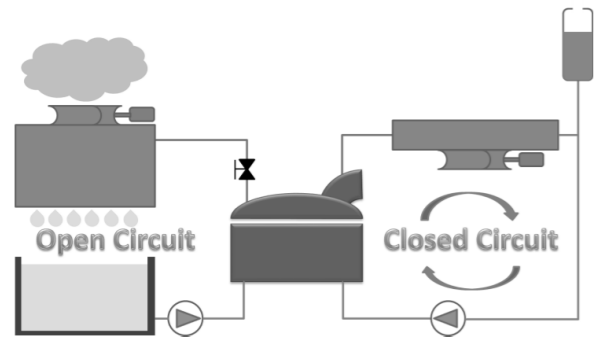


Figure 4. Open and closed circuit cooling systems

**2. Advantages of "Dry, Hot, Closed Circuit" Cooling In EAF and Off-Gas System Water Cooling**

**2.1. Water Saving**

Since the cooling work is free of evaporation, there is no water consumption for cooling purposes in "dry, hot, closed circuit" cooling systems after first fill up.

A typical steel mill with a 150 tones/tap EAF capacity do annually consume approximately 700.000 m<sup>3</sup>/year make-up water in cooling of EAF and off-gas system tube panels. Raw water consumption differs depending on the raw water source and characteristics. Depending on the raw water source, a make-up water pre-treatment plant using reverse osmosis technology will consume from 900.000 m<sup>3</sup>/year (brackish water) to 1.200.000 m<sup>3</sup>/year (sea water) raw water annually.

"Dry Cooling" will consume ZERO cooling water, thus ZERO raw water for cooling purposes.

**2.2. Smaller Make-Up Water Treatment Plant**

In a "wet, cold, open circuit" cooling system circuit water evaporates in the cooling towers thus dissolved solids concentration in the cooling water increases continuously. So a significant amount of cooling water needs to be extracted from the cooling circuit by blow down, in order to keep dissolved solids concentration under control. To compensate evaporation and blow down loses, a continuous water feed is inevitable as make-up water.

As a matter of fact, make up water dissolved solids concentration is critical for the amount of blow down.

Higher the dissolved solids concentration in make-up water results higher amount of blow down and make-up necessity in the circuit. So, not only the amount but also the characteristics of make-up water becomes critical thus nowadays many meltshops cooling circuits are fed by complicated make-up water treatment plants consisting softeners, deionizers, ultra-filtration and reverse osmosis units with high investment and operational costs spent for labour, maintenance, energy, chemicals, feed and discharge bills.

On the other hand, since they are open to ambient atmosphere, wet type coolers receive contaminants like dust, seeds and pollens into cooling water. So additional deep blow downs from the water reservoirs or filtration discharges increase water loss from the circuit.

Since there is no evaporation in a dry cooled cooling circuit, concentration of dissolved solids in the cooling water remain nearly constant thus continuous blow down is not necessary. Both investment and operation costs of make-up water treatment plant do decrease. Make-up water necessity does only depend on the water leakages in the circuits which may be significantly avoided by support of "Hot Cooling" which will be explained to the reader in the next sub heading 2.3.

**2.3. Off-gas System Water Cooled Panels Life Time**

A severe corrosion in secondary combustion chamber and water cooled ducts' panel tubes is generally seen in "Cold Cooling" applications. For though many melt shops suffer critical water leakages and consequences, the corrosion mechanism on the water cooled panel tubes is not well understood by many producers.

Off-gases from an EAF contain water from multiple sources like ambient air, burning of hydrocarbons and electrodes spray cooling water. As a rule of thumb, if the temperature of interior atmosphere in the secondary combustion chamber and water cooled ducts decreases, water holding capacity of interior atmosphere decreases too. And this happens in every break of furnace operation, like charging, in which furnace roof is opened. By the drop of temperature, as water holding capacity of interior atmosphere go down, excess amount of water over maximum absolute humidity condensate. Similar to that droplets on a hot room's cold window in winter time, condensation occurs on the tube panels surface since in "Cold Cooling" circuits, water temperatures are low enough to provide that cold surface effect. Condensing water finds and agitates suitable conditions to create a severe corrosion on the tube walls even by acidic tubercles generated by sulphur mostly from carbon powder injection.

In Figure 5, general view of a leaking off-gas system tube panel is presented. In Figure 6, a cross section of a

corroded tube wall is seen. An under deposit pitting corrosion cell, which is the most critical corrosion type for tube wall, is visible in Figure 6b where surface corrosion layer is thicker. Emerging crack formations on the borders of the corrosion cell do further lead to early water leakages shortly. [1]

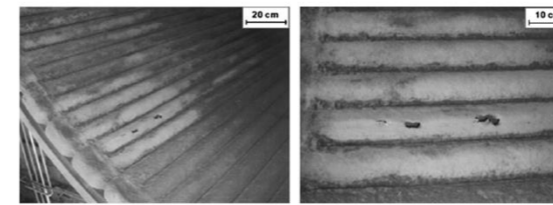
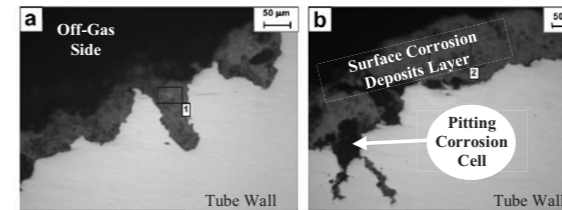


Figure 5. General view of a leaking off-gas tube panel [1]



Spectrum	O	Si	S	K	Ca	Mn	Fe
1	33.40	1.17	0.74	-	0.61	-	64.08
2	34.41	0.60	0.34	0.42	0.32	0.50	63.42

Figure 6. SEM images of pipe cross section close to the rupture collected in secondary electrons mode and related EDXS analyses of corrosion products [1]

Water leakages have many consequences like water loss, unbalanced cooling, dust accumulation in the ducts, hydrolysis of filter bags, etc. Anyhow, stop of production, for long and expensive maintenance actions, is inevitable.

"Hot Cooling" which eliminates the cold surface effect by significantly disrupting condensing conditions, thus slows down the corrosion mechanisms and elongates tube panels' life periods.

**2.4. Saving Recirculation Pumps Energy**

In an "Open Circuit" cooling system, water returns to a cooling tower and reach atmospheric pressure. There is no static pressure on the circuit. The system pressure drops to zero when the pumps turn off. On the other hand, to avoid vapour generation inside panel tubes, EAF and off-gas water cooled parts are designed to have generally at least 2 barg water pressure inside. If not generated by level difference and return line pressure drop, operator should build this back pressure upto 2 bars minimum by slightly closing return valves. This application carries the water boiling temperature to a higher limit over 135°C as intended. (Figure 7.a)

In a "Closed Circuit" cooling system, static pressure is built up by means of an elevated tank generally. The water column height between the elevated tank water surface and the water cooled panel level assures the static pressure. By the way, circulation pumps only run against the pressure drops in piping and panel tubes only. (Figure 7.b)

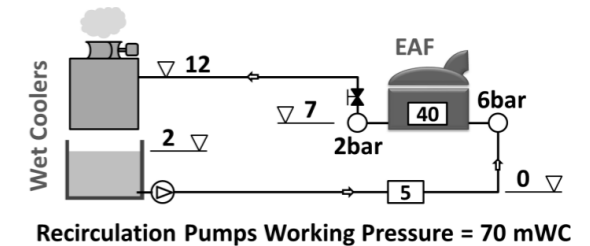


Figure 7.a. Typical open circuit water recirculation

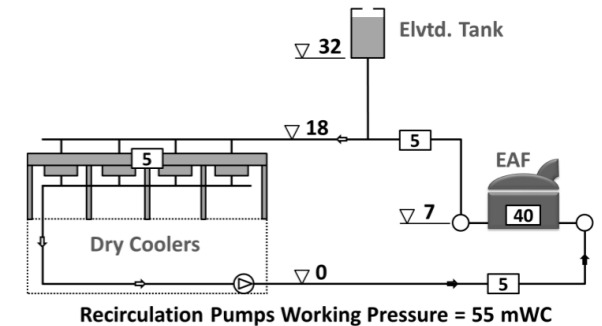


Figure 7.b. Typical closed circuit water recirculation

The typical constructions illustrated in Figure 7 may be different according layout necessities in different steel mills. But under illustrated circumstances, annual savings from pump energy will be around 1.140 MW/year for an EAF cooling circuit. (2500 m<sup>3</sup>/h recirculation rate, 24 hours per day and 350 days per year operation, overall pumps efficiency 75%)

**2.5. Waste Heat Recovery and Decreasing Carbon Foot Print Potential**

For structural safety reasons and evaporation loss acceptability, wet coolers are generally operated with temperatures lower than 50°C.

Waste heat recovery options for large heat capacities are very limited below 50°C. A typical 150 tones/tap EAF and off-gas cooling system receives around 40 to 60 MWh/h waste heat to the cooling water and also consumes additional power to extract this heat from the water. With "Hot Cooling", especially in off-gas system water cooling, water temperatures may be raised over 90°C using dry coolers and multiple waste heat recovery options emerge.

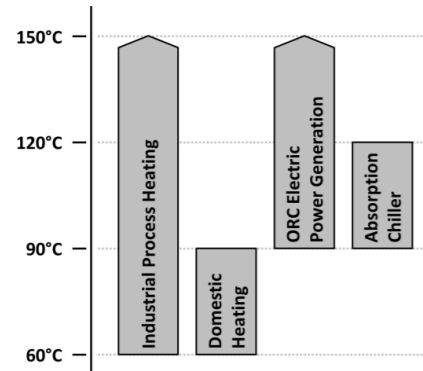


Figure 8. Hot Cooling Waste Heat Recovery Options

Heating options, either industrial or domestic, can be applied with a high heat transfer efficiency. The huge waste heat in the cooling water will be more than sufficient for a factory complex domestic heat demand. The rest of the waste heat may be recovered with an absorption chiller to provide economic chilling capacity used in electric rooms, control cabins, etc. or may be introduced to an Organic Rankine Cycle (ORC) unit to produce electric power. For ORC option, keeping in mind that only %11-15 overall efficiency can be achieved with contemporary technologies, there are a couple of constraints which should be considered. First of all reaching higher temperatures like 110°C or over will provide better efficiency. On the other hand, system design should consist suitable features to stabilize thermal power inlet which fluctuates with the EAF melting profile.

With water and water pre-treatment savings, recirculation pumps energy savings and waste heat recovery options, "dry, hot, closed circuit cooling" approach does provide a significant support in both primary (direct) and secondary (indirect) carbon foot print reduction.

## 2.6. Reduction Of Heat Loss To Cooling Water in EAF

For though he may not support this issue by collected and analysed data, depending on the proof of "Zeroth Law Of Thermodynamics", author does prefer to mention the heat loss to cooling water in an EAF will decrease with "hot cooling" since cold cooling water will receive more heat than hot cooling water.

## 2.7. Layout Allocation

There is an important difference between the typical closed and open circuit diagrams in Figure 7. Open circuits consist a water reservoir for cooling water. In "wet, cold, open circuit" applications these reservoirs generally have huge capacities and by the way the layout design needs to allocate a significant land in the steel mill factory complex.

Since there is no need to keep a big reservoir and also high level installation have advantages against dust contamination, roof top installation of dry coolers is more convenient. By the way, a significant area can be saved on the steel mill layout.

## 2.8. Water Leakage Detection

Water leakages in an EAF is critical and can be vital if water reaches molten steel/slag media or refractories. As mentioned before, "closed circuit" consists an elevated tank to cope with water loses and thermal expansion. Tank water level monitoring by a simple instrument like a radar detector does provide reliable information for even a small amount of leakage in the cooling circuit. By the way, water treatment plant operators may detect and warn the EAF operators for a critical unseen water leakage. Therefore the elevated tank design should be kept thin and long.

## 3. All Three Approaches Together

The water cooling system should consist all three cooling approaches, "dry, hot, closed circuit" together. For example, trying to combine cold and dry cooling will not be meaningful, both investment and operation costs of a dry cooler will be infeasible. Combining "dry, hot" and "open circuit" cooling approaches will result losing advantages of a closed circuit where all necessary infrastructure for a closed circuit was already installed.

## 4. Capacity Decision

Cooling system capacity calculations should be optimised by detailed analysis of thermal power fluctuations according EAF melting profile. The difference between inlet and outlet water temperatures should be carefully analysed, holding in mind that 1 celcius changes the cooling power 5800 kilowatts at a 5000 m<sup>3</sup>/h flow capacity.

## 5. Conclusion

With the rise of water shortage, energy costs and emerging carbon emission liabilities, "dry, hot, closed circuit" cooling systems are representing reliable options in steel production by supporting sustainability and providing significant competitive edges.

## References

- [1] M. Gelfi, A. Pola, R. Roberti, G.M. La Vecchia, E. Galli, Failure analysis of an electric arc furnace off-gas system, Engineering Failure Analysis, Volume 25, 2012, Pages 42-48

# Yüksek Karbonlu Çelik Kalitelerinde Makro Segregasyonun Azaltılması için Proses Parametrelerinin Optimizasyonu

## Optimization of Process Parameter to Decrease Macro Segregation in High Carbon Steels



İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Kağan KELER

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Macro segregation is the most crucial material problem in the continuous casting process. The segregation is a physical phenomenon in the continuous casting process. Problem is caused by the solubility of elemental differences in the solid and liquid phases. Macro segregation is affected by the chemical composition difference in macro dimension within the casting structure. Since the chemical composition difference in the macro dimension cannot be eliminated by the annealing process such as micro segregation before rolling, it causes problems in the final use.

In this study, it was aimed to minimize the macro segregation in SAE J403 1080 steel grade, which is produced for pre-stressed concrete (PC) wire. In this research, experimental studies were carried out with the parameters of casting speed, EMS current (A) & EMS frequency (Hz) values and secondary cooling regime in the continuous casting process. At industrial tests, it was aimed to select the parameters that will achieve the minimum segregation level. In this context, it has been determined that chemical composition homogeneity is higher in macro inspections, especially at levels where EMS Current (A) and Frequency (Hz) values are high in the experimental set.

### Özet

Sürekli döküm sürecinde en önemli iç yapı problemlerinden biri makro segregasyondur. Segregasyon kusuru sürekli döküm sürecinde fiziksel bir olgu olup, alaşımlarda bulunan çözünmüş elementleri katı ve sıvı fazlardaki çözünürlük farkından kaynaklanır. Segregasyon çeşitlerinden biri olan makro segregasyon döküm yapısı içerisinde makro boyuttaki kimyasal kompozisyon farkından oluşmaktadır. Makro boyuttaki kimyasal kompozisyon farkı haddeme öncesinde, mikro segregasyon gibi tavlama prosesi ile giderilemediği için nihai kullanımda problemlere yol açmaktadır.

Yapılan çalışmada ön gerilmeli beton teli için üretimi yapılan SAE J403 1080 kalitesinde makro segregasyonun minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda sürekli döküm prosesinde döküm hızı, EMS Akım, EMS Frekans

Değerleri ve İkincil Soğutma rejimi ile denemeler yapılmış ve minimum segregasyon seviyesi tespit edilmiştir. Özellikle EMS Akım ve Frekans değerlerinin deney setinde yüksek olduğu seviyelerde makro incelemelerinde kimyasal kompozisyon homojenitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

### 1. Giriş

İsdemir tesislerinde ön gerilmeli beton çeliği uygulamaları için üretilen kaliteler SAE J403 1080 standardı kapsamında üretilmektedir. Yapılan üretimler Yüksek Fırın, Kükürt Giderme, Bazik Oksijen Fırını, İkincil Metalurji İstasyonu ve Kütük Döküm Tesislerinde yarımamul üretimi tamamlanır. Üretilen kütükler gerekli kontrollerin tamamlanması sonrasında kangal tav fırınına şarj edilir. Tavlandıktan sonra istenilen çapa haddelenen kütükler, nihai ürün olarak filmaşın formuna getirilir.

Çelik içerisinde bulunan elementlerin sıvı demir banyosu ile katı demir fazlarındaki çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Bu fark, katılaşma sırasında sıvı-katı dönüşümünde katı bölgede çözünürlüğün daha düşük olmasından dolayı çözünmüş elementlerin kimyasal olarak kompozisyonunun artmasına neden olur. Segregasyon olarak nitelendirilen bu olgu, özellikle yüksek karbonlu ve/veya yüksek alaşımlı çeliklerde son katılaşmanın olduğu bölgelerde nominal kimyasal kompozisyona göre daha yüksek bir kimyasal içerik meydana getirir. Bu segregasyon miktarı dentritler arası uzaklık bir diğer ifade ile mikron seviyesindeki bölgeler arasında bir kimyasal kompozisyon farkı ile sonuçlanırsa, bu durum mikro segregasyon olarak adlandırılır ve uygun tavlama koşulları ile giderilebilir. Makro segregasyon ise kütük içerisinde kimyasal kompozisyon farklılıklarının uzaklıklarının daha yüksek seviyede olmasıdır. Bu farklılığın iç yapıda uzaklık açısından fazla olması tavlama süresi ve sıcaklıklarını arttırmakta ve homojen olmayan iç yapı etkilerini tetiklemektedir.

### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmalar kapsamında 1082 kalitesi üretimlerinde segregasyon indeksinin nasıl değiştiğine yönelik



incelemelerde bulunulmuştur. Literatür araştırmalarıyla birlikte segregasyona etki eden süper ısı, döküm hızı, EMS (elektromanyetik karıştırıcı) ikincil soğutma reçeteleri, kimyasal analiz gibi parametrelerle birlikte deneme seti oluşturulmuştur. Deneme üretimler aynı kanaldan yapılmış olup kanal ve makine bazlı değişimlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Tablo 1'de deneme planına ait veri seti yer almaktadır.

**Tablo 1. Deneme Veri Seti**

Deney No	Döküm No	Döküm Hızı	Kanal	Deneme Yapılacak Kütük Adedi	EMS Set Değerleri		İkincil Soğutma
					Akım	Frekans	
1	1	2,8	1.Kanal	5	360	5	V51
			1.Kanal	5	360	5	M2
			1.Kanal	5	360	5	H3
2	2	3	1.Kanal	5	360	5	V51
			1.Kanal	5	360	5	M2
			1.Kanal	5	360	5	H3
3	3	3,2	1.Kanal	5	360	5	V51
			1.Kanal	5	360	5	M2
			1.Kanal	5	360	5	H3
4	4	3,4	1.Kanal	5	360	5	V51
			1.Kanal	5	360	5	M2
			1.Kanal	5	360	5	H3

Her bir deneme için bir değişken değiştirilerek diğer döküm parametreleri sabit tutularak, kütük makro yapısı incelenmiştir. 36 farklı deneme koşulunun uygulandığı dökümlerde makrolar değerlendirilerek en uygun döküm reçeteleri belirlenmiş, dökümlerin segregasyon indeksleri değerlendirilmiştir.

Çalışmalarda döküm sonrasında katılma yapısının makro numuneler üzerinde karakterize edilmesi üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. Özellikle yüksek karbonlu kalitelere döküm katılma yapısının ortaya çıkarılması için dağılayıcı asit türü, sıcaklık, dağılama süresi gibi faktörler standardın belirlediği şartlar göz önüne alınarak uygulanmaktadır. Bu kapsamda çalışmalarda iki farklı asit çözeltisinde (HCl asit ve kral suyu) kullanılmış ve farklı bekleme süreleri temel alınarak döküm yapıları incelenmiştir. İncelemelerde eş eksensli bölge oranının döküm koşullarına bağlı değişimi araştırılmıştır.

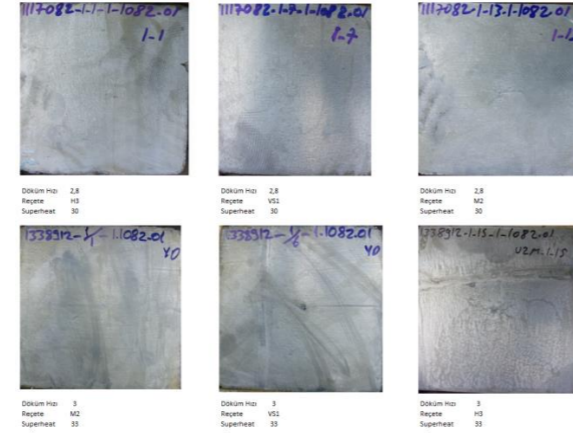
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Denemeler sonucunda tüm dökümlerde herhangi bir seviye oynaması gözlemlenmemiş, pota fırını çıkış sıcaklığının tandiş sıcaklık aralığına uygun olmasına dikkat edilmiştir. Denemeler sonucu elde edilmiş makro sonuçları ve üretim verileri Tablo 2 de verilmiştir.

- Her deney setinden alınan numunelerde sertlik ölçümleri kütük makrosunda gerçekleştirilmiştir.
- Makro üzerinde diyagonal ve yatay olmak üzere sertlik ölçümleri alınmış ancak tahmini eş eksensli bölge ile dendritik bölge arasında belirgin bir fark ölçülmemiştir.
- Yapılan dağılama deneylerinde HCl ve Kral Suyu (HCl+HNO<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Her iki dağılayıcıda da uygun sıcaklık, bekleme süreleri ve uygun asit yoğunluğunda katılma yapısı ortaya çıkarılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları eş eksensli bölgenin subjektif yoruma açık olduğu ve ilerleyen dönemde görüntü işleme teknolojisi kullanılarak daha iyi sonuçların elde edilebileceği değerlendirilmiştir.

- Deneme döküm sonuçlarında segregasyon indeksi 0,98 olan durumda Hız: 3 m/dk, Soğutma:H3 (1,75 l/kg), EMS Amper:360, Hz:5 olarak gerçekleştirilmiştir.
- Segregasyon indeksi 0,99-1,01 olan durumda Hız: 2,8 m/dk, Soğutma: H3 (1,75 l/kg), EMS Amper:360, Hz:5 olarak gerçekleştirilmiştir.
- Üretim koşullarına göre hızın artırılıp reçetenin değiştirildiği senaryolarda katılma yapısını en ideal duruma getirmek için EMS, soğutma ve diğer bileşenlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

**Tablo 2. Deneme Üretimlerinin Makro ve Proses Parametreleri Karşılaştırması**



## Demir-Çelik Sektörü AR-GE Yönetiminde İnovatif Yaklaşım ile Sürdürülebilirlik

Sustainability with Innovative Approach in Iron-Steel Industry R&D Management



Şeyma ULUKAYA, Cansu BESUN, Mücahit SEVİM

Kardemir A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Innovation, new products, new market areas, cost reduction methods provide an opportunity to create different and new business opportunities for companies. This innovative approach is important for R&D centers, which are the focal point of knowledge and sustainability. The R&D management aims to contribute to sustainability with its innovative approach in the iron and steel industry, as well as to produce new value-added products and to improve production processes. This study aims to investigate the innovative approaches followed by the R&D Centers in the iron and steel sector in order for the companies in the sector to take place in the national and international markets and to be sustainable. In this context, the sustainability studies of the iron and steel industry with an innovative approach were examined. The orientation of the R&D Centers in the iron and steel sector towards the automotive, railway, machinery and defense industry sectors has been determined in order to reduce foreign dependency. In this context, the Railway Wheel Production Facility within Kardemir AŞ, which started production in 2019 with an innovative approach, limited the country's imports and contributed to sustainable development. It shows that there is a need to produce new products with high added value as a result of examinations, determinations and researches.

### Özet

İnovasyon, yeni ürünler, yeni pazar alanları, maliyeti azaltma yöntemleri, şirketler için farklı ve yeni iş olanakları oluşturmaya fırsat sağlamaktadır. Bu inovatif yaklaşım, bilgi ve sürdürülebilirliğin odak noktası olan Ar-Ge Merkezleri için önem arz etmektedir. Ar-Ge yönetimi, demir-çelik sektöründe de inovatif yaklaşım ile katma değerli yeni ürünler üretmeye ve üretim süreçlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar ile sürdürülebilirliğe katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu çalışma, sektördeki şirketlerin ulusal ve uluslararası pazarda yer alması ve sürdürülebilir olması için demir-çelik sektöründeki Ar-Ge Merkezlerinin izlediği inovatif yaklaşımların araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda, demir-çelik sektörünün inovatif yaklaşım ile sürdürülebilirlik çalışmaları incelenmiştir. Demir-çelik sektöründeki Ar-Ge Merkezlerinin, dışa bağımlılığı

azaltmak amacıyla otomotiv, demiryolu, makine ve savunma sanayii sektörlerine olan yönelimleri tespit edilmiştir. Bu bağlamda, inovatif yaklaşımla 2019 yılında üretime başlayan Kardemir AŞ bünyesindeki Demiryolu Tekeri Üretim Tesisi, ülkenin ithalatını kısıtlamış ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamıştır. İnceleme, tespit ve araştırmalar sonucunda katma değeri yüksek yeni ürünlerin üretilmesine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

### 1. Giriş

İnovasyon kavramı, yeni bir ürün veya üretim süreci oluşturulurken bilimsel araştırmadan buluş geliştirmeye ve ticarileştirmeye için yapılan tüm faaliyetlerdir. İnovasyon olması için süreç, ürün, pazarlama veya örgütsel yöntemin firma için yeni olması gerekliliği bulunmaktadır. Yeni ürün üretiminin yanı sıra önemli derecede iyileştirilmiş ürün, süreç ya da yönetim de inovasyon için yeterli kabul edilmektedir. Yeni ürün, işletmenin üretebildiği ürünlerin yanı sıra büyük ölçüde farklılık gösteren özelliğe, tasarım ve kullanıma sahip yeni üretim yolu ile elde edilen ürünlerdir. Ürünün önemli derecede iyileştirilmesi ise ürün performansının fazlasıyla genişletilmesi ve artırılmasıdır [1].

Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge), yeni ürünler üretmek ve farklı hizmetler ortaya çıkartmak için bir plan doğrultusunda gerçekleştirilen yaratıcı çalışma ve bilgi aktarımı olarak tanımlanır. Türkiye'deki firmaların hedefleri genellikle büyük ölçeklidir. Firmalar açısından Ar-Ge faaliyetleri, bu büyük ölçekli hedeflere ulaşmak için katma değerli yeni ürünler geliştirmek, üretilen ürünlerin nitelik ve performansını yükseltmek, üretim aşamalarında maliyet avantajını sağlamak ve ulusal/uluslararası rekabet içerisinde yer alarak piyasalardaki üstünlüğü elde etmeyi amaçlamaktadır [2].

Bilgi odaklı Ar-Ge yönetimindeki karar verici ve uygulayıcı yönetici ile araştırmacılar, birçok alanda sürdürülebilir büyüme için önemli avantajlar sağlamaktadır. Verimliliğin ve üretkenliğin artırılması, hizmet ve ürün kalitesinin geliştirilmesi gibi avantajlar küresel rekabet içerisinde yer almak için yeni ürün ve farklı üretim teknikleri üzerine çalışılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmalar ise Ar-Ge

yönetiminde doğru ve düzenli oluşturulan çalışma prensipleri sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Günümüz şartlarında özellikle firmalar açısından Ar-Ge faaliyetleri büyük önem taşımaktadır. Firmaların sürdürülebilir olmaları ve rekabet ortamında lider konumuna gelebilmeleri için ürün ve hizmet kalitesi yeterli olmamakla beraber üretim aşamalarında yeni ürün ve üretim tekniklerinin geliştirilmesi de gerekmektedir. Yenilik günümüzde firmalar için önem arz ettiğinden Ar-Ge yönetimi ve inovasyon üzerinde çalışılan önemli konulardandır [3].

İnovasyonun ön koşulu Ar-Ge'dir. Ar-Ge çalışmaları sonucunda ortaya çıkarılan yeni düşünceler ve araştırmalar, bir girişimci bakışı ile incelendiğinde, bu yeniliklerin üretilmesi ve ticarileştirilmesi sonucunda inovasyon meydana gelir [4].

Ar-Ge yönetimi, demir-çelik sektöründe de inovatif yaklaşım ile katma değerli yeni ürünler üretmeye ve üretim süreçlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar ile sürdürülebilirliğe katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Demir-çelik sektörü, demir cevherinin maden olarak çıkartılmasından itibaren, yoğunlaştırma, dökme, dövme, haddeleme, çekme gibi yöntemlerin üretiminde kullanıldığı sektördür. Nihai ürünlerin çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı demir-çelik sektörünün önemi her geçen gün daha çok arttığı gözlenmektedir [5].

Ülkelerin ekonomik anlamda gelişmesi için temel olarak bilinen demir-çelik ürünleri ülkeler açısından önemli olmakla beraber ara ve yatırım malları sanayilerin temel unsuru durumundadır.

Demir-çelik özellikle otomotiv, inşaat, beyaz eşya, gemi inşası ve savunma sanayinin ana girdisidir. Demir çeliği ana girdi olarak kullanan sektörler de ülke ekonomilerine de önemli katkılar sağlamaktadır. Bu nedenle demir-çelik sektöründeki Ar-Ge ve inovasyonun önemi daha net bir şekilde görülmektedir [6].

## 2. Yöntem

Araştırma kapsamında, sektördeki şirketlerin ulusal ve uluslararası pazarda yer alması ve sürdürülebilir olması için demir-çelik sektörünün inovatif yaklaşım ile sürdürülebilirlik çalışmaları incelenmiştir. Sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için Ar-Ge faaliyetleri de ayrıca ele alınmıştır.

Entegre demir-çelik tesisleri bünyesinde üretilen ürünlerin sektörel yönelim potansiyelleri incelenmiş ve Ar-Ge yönetiminin yeni ürün çalışmaları ile sürdürülebilirliğe katkısı üzerinde derlemeler yapılmıştır.

Bu bağlamda, 2019-2023 yıllarını kapsayan On Birinci Kalkınma Planı'nın; 395. maddesinde "Ana metal sanayiinde üretim yapısının vasıflı ürünler üretebilecek şekilde geliştirilmesi, yüksek katma değerli ürün çeşitliliğinin artırılması ve atıl kapasiteye yol açmadan cevhere dayalı üretim yönteminin payının artırılması temel amaçtır" (On Birinci Kalkınma Planı, 2019: 90) ve 396. maddesinde "Demir-çelik sektöründe ihracatın ve ihraç pazarlarının genişletilmesi, standart dışı kalitesiz ürün ithalatının engellenmesi, savunma sanayii, demiryolları, mega projeler ve nükleer santraller gibi stratejik alanlarda kullanılan çelik türlerinin kalite ve ebat bazında yurt içi tedarik zincirinin geliştirilmesine ve girdi tedarikinin güvence altına alınmasına önem verilecektir" (On Birinci Kalkınma Planı, 2019: 91) politikalarına yer verilmiştir [7].

Ayrıca On Birinci Kalkınma Planı'nda; Ar-Ge ve Yenilik başlığı altında yer alan 347. maddesinde "İmalat sanayiinin katma değerli üretim yapabilmesi ve yenilikçi ürün geliştirme kapasitesinin artırılması yönünde Ar-Ge ve yenilik kabiliyetinin güçlendirilmesi ve yeniliği esas alan bir yapıya kavuşturulması temel amaçtır" (On Birinci Kalkınma Planı, 2019: 78) ve 348. maddesinde "Ar-Ge ve yenilik destek sistemi; odaklı, araştırmadan ticarileştirmeye tüm süreci kapsayan, orta-yüksek ve yüksek teknoloji sektörlerine yönelik olarak farklılaşan ve sektörlerin ihtiyaçlarını ve gelişme potansiyellerini dikkate alan bir yapıya dönüştürülecektir" (On Birinci Kalkınma Planı, 2019: 78) politikalarına yer verilmiştir [7].

Bu politikalar çerçevesinde katma değeri yüksek ürünlere yönelerek, ana metal sanayisinde ihracat pazarının genişletilmesiyle ithalatın önüne geçilmesi için demir-çelik Ar-Ge Merkezlerine büyük sorumluluk düşmektedir. İhracat pazarında sürdürülebilirliği sağlamak için inovatif yaklaşımlar ile beraber Ar-Ge tabanlı işbirliklerine de ihtiyaç duyulmaktadır.

## 3. Bulgular

Araştırmalar sonucunda incelenen örnekler değerlendirilerek demir-çelik sektöründen "Fabrikalar Kuran Fabrika" olarak anılan Kardemir AŞ'nin yol haritası ve ürün potansiyeli ele alınmıştır. Ar-Ge işbirlikleri ile inovatif çalışmaların fabrikaya sağladığı kazancın yanı sıra ulusal bir fayda sağladığı açıkça görülmektedir.

Entegre demir çelik fabrikalarından olan Kardemir'in en önemli hammaddeleri demir cevheri ve taşkömürüdür. 0-10 mm boyutundaki toz demir cevherleri sinterleme tesislerinde sinterlenerek yüksek fırın girdisi haline getirilir. Ayrıca yüksek fırının olmazsa olmazı olan metalürjik kok, taşkömürünün kok bataryalarında koklaştırılmasıyla elde edilmektedir. Düşük tenörlü durumdaki demir cevherleri, işlemler sonucunda zenginleştirilmesi ile yüksek tenörlü duruma getirilir. Bu hammaddeler, yüksek fırınlarda işlenerek sıvı ham demir elde edilerek çelik üretim prosesi

sonrasında çeliğe dönüştürülmekte ve sürekli döküm makinelerinde yarı mamul olan kütük hale getirilmektedir. Kütükler, uzun mamul haddehanelerinde işlenmesi sonucunda nihai ürün haline getirilmektedir [8]. Bu nihai ürünler; çubuk, kangal, ray, profil, köşebent, demiryolu tekeri, platina, maden direkleri, nervürlü ve düz inşaat çeliği şeklindedir [9].

Kardemir'in Ar-Ge bakış açısı ile elde etmiş olduğu inovatif çalışmaları sektörel bazlı olarak otomotiv, demiryolu, makine ve savunma sanayii başlıkları altında paylaşılmaktadır.

### 3.1. Otomotiv sektörü

Günlük hayatta vazgeçilemeyen parça olan karayolu ulaştırma sistemleri sosyal ve ekonomik sonuçları ile toplum üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Karayolu ulaştırma ağının vazgeçilmez ögesi ise otomotiv sektörüdür. Otomotiv sektörü, teknolojinin gelişmesine hız kazandıran yeniliklerin meydana gelmesi ile ekonomiye en yüksek katkıyı sağlayan sektörlerin başında gelmektedir. Otomotiv sektörü, Türk sanayinin en önemli lokomotifleri olmakla beraber, yarattığı katma değer, istihdam, ihracat ve yan sanayi ile Türkiye'nin bağımsızlığı açısından çok büyük bir değer taşımaktadır. Özellikle yerli otomotiv üretimi üzerinde oluşan bu değer her geçen gün artmaktadır.

Kardemir, küresel üretim merkezi haline dönüşen otomotiv sektörünün uzun yarı mamul gereksinimlerini uluslararası kalite standartlarına uygun olarak karşılama kapasitesine sahiptir. Bağlantı elemanları, süspansiyon, topuk teli ve lastik teli üretiminde kullanılan çelik kalitelerinin geliştirilmesi ve üretimi için Ar-Ge Merkezi yönetiminin inovatif yaklaşımıyla oluşturulan Ar-Ge projeleri ile Kardemir'in, geleneksel ürünlerin yanı sıra katma değeri yüksek ürün üretme kabiliyetine sahip olması hedeflenmiştir. Özellikle küresel üretim merkezi haline dönüşmüş olan otomotiv sektörüne yönelik ihtiyaçların, yurt içinden sağlanması ve uzun vadede ihracatının da gerçekleşmesi tasarlanmıştır.

### 3.2. Demiryolu sektörü

Demiryolu sektöründe rekabet gücünü artıracak bir teknolojik atılım hedeflenmektedir. Bu hedeflenen atılımın önemli bir ayağı, katma değeri yüksek, orta ve yüksek teknoloji ürünlerin yerli imkanlar ve becerilerle üretilmesidir. Bu kapsamda Türkiye'nin odaklandığı sektörlerden biri de demiryolu taşımacılığı sektörüdür. Türkiye sadece raylı sistem kullanıcıları değil hem ülkenin ihtiyaçlarını karşılayan hem de ürettiklerini ihraç edebilen bir ülke olmayı hedeflemektedir.

Ulaşım sisteminin en önemli öğelerinden biri de demiryollarıdır. Türkiye'nin kalkınma ve bağımsızlığını belirleyen demiryolu sektörünün canlı tutulması ve taşımacı

rolünün güvenli olmasından dolayı güçlendirilmesi için sosyal anlayışına ve serbest piyasa koşullarına göre sürdürülebilir bir yapının oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Demiryolu sektörünün yatırımları, birçok alanda gelişim farklarını azaltma yönünde dünyada giderek artan bir ivme ile devamlılığını korumaktadır. Bu doğrultuda, Türkiye'nin demiryolu sektörüne yönelik ray ve demiryolu tekerinin üretimi sadece Kardemir'de gerçekleştirilmektedir. 2007'de Ray Profil Haddehanesi, 2019 yılında üretime başlayan Demiryolu Teker Üretim Tesisi Orta Doğu'nun tek üreticisi konumundadır.

Kardemir, ülkenin dış ticaret açığını kapatmak, ithalatı önlemek için sektörün tekerlek gereksinimlerini uluslararası kalite normlarına uygun olarak karşılamaktadır. Bu nedenle Kardemir Ar-Ge Merkezi yönetiminin inovatif yaklaşımıyla oluşturulan Ar-Ge projeleri kapsamında bölgede ve dünyada söz sahibi üretici konumuna erişme hedefini benimsemektedir.

### 3.3. Makine sektörü

Bağlantı elemanları, günümüzde 4.000'e yakın farklı alanlarda kullanılmaktadır. Beyaz eşya, elektrik, elektronik, inşaat ve mobilya bunlara örnek olarak verilebilir. Makine sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olan bağlantı elemanları, sanayinin merkezinde yerini almış durumdadır. Bu nedenle Kardemir Ar-Ge Merkezi yönetiminin inovatif yaklaşımıyla oluşturulan Ar-Ge projeleri kapsamında vasıflı çelik kaliteleri ile bağlantı elemanları üretilmesine katkı sağlamayı hedeflemiştir.

Ülkemizde bağlantı elemanlarının üretimi için kullanılmakta olan ham maddeler birçok firma tarafından üretilmektedir. Ayrıca yan sanayi dalında üretilen kalıpların Kardemir gibi vizyon sahibi firmalar tarafından yapılması makine sektöründeki gelişmeyi göstermektedir. Türkiye'de bağlantı elemanları sektörüne yerli olarak üretilen kaplama tesisleri, diş açma makineleri, ısıl işlem makineleri, ayıklama makineleri, yıkama makineleri katkı sağlamaktadır. Türkiye coğrafi konumundan dolayı lojistik açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu avantaj teslimat süresini olumlu yönde etkileyeceğinden dolayı birçok ülke için Türk üretiminin tercih edilme sebebi olmaktadır.

### 3.4. Savunma sanayii sektörü

Osmanlı döneminde temelleri atılan Cumhuriyet dönemi içerisinde tekrardan canlanan savunma sanayii sektörü dönemsel olarak bazı zamanlarda durma seviyesine kadar gelmiş olsa da günümüzde savunma sektörünün stratejileri açısından oldukça hızla gelişme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Savunma sanayisinde, ateşli silah parçalarının imalatında kullanılan 4140 (42CrMo4) kalite çelik grubunun yerli

üretimi ihtiyacın çok gerisinde kalmaktadır. Bu sebeple firma özelinde nitelikli ürün gamının geliştirilmesi ülke genelinde de ithalatın azaltılması için Kardemir Ar-Ge Merkezi yönetiminin inovatif yaklaşımıyla oluşturulan Ar-Ge projelerinden 4140 kalite çeliğin üretilmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan Gölcük ve Pendik Tersaneleri ile işbirliği yapılmaktadır.

#### 4. Sonuç

Kardemir, otomotiv, savunma, demiryolu ve makine sanayilerine ürün tedarik edebilecek üretim gücüne ve kapasitesine sahiptir. Her geçen gün hedefinde yer alan pazarı genişletmek için çalışmalarda bulunmaktadır. Vida, somun ve civata üreticileri ile gerçekleştirmiş oldukları işbirlikleri ile otomotiv, beyaz eşya, elektronik ve mobilya sektörlerine dolaylı katkılar sağlamaktadır. Demiryolu sektöründe ise ray ve tekerlek üretimi ile ithalatı önleyerek ülkemize doğrudan katkı vermektedir.

Ar-Ge yaklaşımı ile piyasa araştırmaları, ihtiyacın belirlenmesi, tüketici firmalar ile ürün geliştirilmesi üzerine iş birliği, deneme üretimleri ve üretimlere yönelik çelik temizliği artışı amaçlayan çalışmalar tamamlanmıştır. Bu aksiyonlar sonucunda otomotiv, savunma, mobilya ve beyaz eşya gibi birçok sektörde kullanılan 17MnB3, 20MnB4, 23MnB4, 27MnB4, 30MnB4 kalite MnB serisi çeliklerin üretimi Kardemir'de ilk defa ve demiryolu sektöründe kullanılan 59R1, 60R1 ve 60R2 oluklu ray, BA004 demiryolu tekeri, 860 mm metro tekeri, 20 ton yük vagon tekeri Kardemir'de ve Türkiye'de ilk defa üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kardemir, ihtiyacın büyük oranda ithalat ile karşılandığı bu ürünler içinde sektörde yerli ve milli tedarikçi konumuna gelmiştir. Bu inovatif yaklaşım ile Kardemir, entegre tesis olmanın verdiği avantajı kullanarak, köklü geçmişiyle nitelikli ve katma değeri yüksek ürün gamını geliştirmiş ve sanayideki rekabet gücünü artırarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamıştır. Ar-Ge Merkezi, bu kapsamdaki faaliyetini işletmeler ile işbirliği ve koordinasyon içerisinde sürdürmüştür.

İnceleme, tespit ve araştırmalar sonucu demir-çelik sektöründen birçok alana tedarik edilen ürünlerin, ithalatı kısıtlayarak, istihdamı arttıracak, dış ticaretimize katkı sağlayacak nitelikte katma değeri yüksek yeni ürünlerin üretilmesine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu ihtiyaçların Ar-Ge yönetiminde inovatif yaklaşım ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda giderildiği ve sürdürülebilirliğe katkı sağladığı görülmüştür.

#### Referanslar

- [1] G. Murat, H. G. Kulualp, Yöneticilerin Yeniden Yapılanma Sürecinde İnovasyona Bakış Açısı: Kardemir Örneği, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 28 (2015) 49-64.
- [2] M. K. Börü, D. Çelik, Türkiye'de Ar-Ge Harcamaları, İnovasyon ve Ekonomik Büyüme İlişkisi, R&S - Research Studies Anatolia Journal, 5 (2019) 196-206.
- [3] U. Sevim, İşletmelerde AR-GE Yatırımlarının İçsel Belirleyicileri: İmalat Sektörü Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23 (2021) 1-19.
- [4] Y. Erdoğan, M. Ö. Güngör, F. Güçlüer, Çağdaş Belediyecilik Anlayışında İnovatif Yaklaşımlar ve Ar-Ge Tabanlı İşbirliklerinin Toplam Kamu Faydasına Etkileri, IRDITECH 2019 Uluslararası Ar-Ge, İnovasyon ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, 2-3 Mayıs 2019, İstanbul, Türkiye.
- [5] T. Ersöz, M. Düğenci, M. Ünver, B. Eyiol, Demir çelik sektörüne genel bir bakış ve beş milyon ton üstü demir çelik ihracatı yapan ülkelerin kümeleme analizi ile incelenmesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (2015) 75-90.
- [6] M. Atgür, Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Türkiye'de Demir-Çelik Sektörü: Analizi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2006, Balıkesir, Türkiye.
- [7] Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023, 2019, Türkiye.
- [8] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Demir Çelik Sektörü Raporu, 2020, Türkiye.
- [9] <<http://www.kardemir.com/urunler>> Tarih: 05.03.2022.

## Challenges of the Steel Industry - Leaving Carbon Behind

Çelik Sektörü Mücadelesi – Karbon Geride Bırakılıyor



Alexander FLEISCHANDERL

Primetals Technologies - Austria

Steel, with its high strength-to-weight ratio, recyclability, and relatively low production costs, will remain invaluable for various sectors for decades to come. Yet, as the realities of climate change around the globe bring heavy industries under increased scrutiny, the iron and steel industry is pressed to transform based on changing legislation and regulations worldwide. While contributing nearly 10% of global carbon emissions and market demand showing no signs of slowing down, the steel industry must face the challenges of climate change head-on as it leaves carbon behind.

#### The Challenge of Climate Change

Since the Paris Climate Agreement, signed in 2015 at the United Nations Climate Change Conference (COP21), countries and governments worldwide have pledged their commitment to net-zero carbon emissions. As a result of the most recent UN Climate Change Conference, COP26, in Glasgow, United Kingdom, 90% of global emissions are now accounted for by net-zero commitments.<sup>1</sup> Although some critics have argued that progress has been slow, participants addressed crucial steps toward carbon neutrality at COP26, including phasing out coal, reducing methane emissions, and halting and reversing deforestation.<sup>2</sup> While the conference addressed immediate concerns facing the globe and climate change, its focus remained on the energy sector's coal consumption and setting realistic goals for countries reliant upon coal as an energy source. However, as pressures mount to reduce the use of coal in the energy sector, the steel industry will also experience the pressure to reduce emissions and move away from fossil fuels, which currently is still a 70% share of energy consumption per ton of steel.<sup>3</sup>

According to the International Energy Agency (IEA) and their "Iron and Steel Tracking report" from November 2021, steel demand has steadily increased by approximately 3% per year, excluding a brief plateau from 2013–2016 and a limited decline in 2020 by 0.9%.<sup>4</sup> While McKinsey & Company predicted a slight increase of just 0.8% per year from 2016–2025, production from 2019 compared to 2021 still saw a 2% increase despite the decline in 2020.<sup>5</sup> One thing is clear, no matter how volatile, steel demand will undoubtedly increase over the coming decades. Primetals Technologies' analysis forecasts steel demand to reach about 2,200 million tons in 2050.

With high energy demands and the use of coal and coke in blast furnace production routes, the steel industry will continuously feel the pressure to reduce emissions as demand surges. After COP26, pressures to reduce coal-based energy production will gradually see reduced investments in coal mining and, subsequently, reductions in coking coal and coke production.<sup>6</sup> In a new report by McKinsey & Company from January of 2022, the raw material commodity market will put further pressure on the steel industry to adopt technologies that reduce carbon emissions for climate change and shift dependency on coal and coke for the blast furnace route.<sup>7</sup> The latest import prices for coke in the Turkish market also reflect this change with a 90% increase in coke price from 2020 to 2021. However, the price of coke and coal is not the only cost steel producers can expect to increase.

The European Green Deal from 2019/2020, which proposes mechanisms to cut greenhouse gas emissions by 55% by 2030 and become climate-neutral by 2050, is one of the more stringent pieces of legislation impacting all industry sectors in Europe. In July 2021, the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) was proposed to prevent carbon leakage. This mechanism is designed to allow EU importers to purchase carbon certificates corresponding to the carbon price that would have been paid had those products been produced in the EU. The mechanism also applies to exporters, who can demonstrate their payment for the carbon used during the production of the imported good, which can subsequently be deducted from the EU importer. Amongst the industry sectors chosen for the new mechanism is the iron and steel sector, which has a high risk of carbon leakage and increased carbon emissions.



Fig. 1: EU Carbon Permit prices as per the EU Emissions Trading System demonstrate a gradual increase over the past several years and a sharp increase approaching the initial phases of free allocation beginning in 2023, with more stringent regulations to follow approaching 2030.

In February 2022, we have already seen a sky-high price of more than 90 euros per ton of CO<sub>2</sub> as per the Emissions Trading System (ETS) (Fig. 1). After a short crash caused by the Russia-Ukraine conflict, the ETS price quickly recovered to 80 euros plus. With an average of 1.4 tons of CO<sub>2</sub> produced for every ton of crude steel and integrated steel mills reaching between 1.7 and 2.2 tons, the price per ton of CO<sub>2</sub> will play a significant role for steel producers.<sup>8</sup> Producers will soon experience a transition period from 2023 to 2025 and, in 2026, pay carbon taxes. After the free allocation phase ends in 2030, ETS price levels for every million tons of steel produced will account for about 150 million euros each year. The rising price of EU carbon permits might be one of the critical motivators to invest in a green steel future. All signs point to a transition away from carbon-intensive steel production, but the question remains, how will the steel industry effectively move away from fossil fuel-based steel production?

**Breakthrough Technologies**

Several breakthrough technologies lead the way towards carbon neutrality for the steel industry, reducing carbon emissions, contributing to the circular economy, and playing an integral role in the future of climate neutrality worldwide. Anticipating an increase in renewable energy infrastructure, the electrification of steel production, increased scrap-based steel production, and increased use of the direct reduction with natural gas and hydrogen, the steel industry will see a transition toward net-zero emissions over the coming decades. However, mirroring the arduous debates of COP26, the shift toward carbon neutrality for the steel industry will occur gradually and in phases. Still, new technologies present the opportunity to be prepared for the future by adopting early.

The steel sector has already kicked off an initial transition phase. With the potential to reduce its carbon footprint by up to 30%, the steel sector continues to implement multiple improvement packages that focus on energy efficiency, yield improvement, new lightweight steel grades, the circular economy, and other process improvements. In these early transition phases toward carbon neutrality, the spotlight is on readily available technologies, including electric steelmaking using electric arc furnaces (EAF) and the incorporation of Endless Strip Production —i.e., Arvedi ESP. These technologies will help to immediately reduce carbon emissions by removing steps that emit increased amounts of CO<sub>2</sub>, including coke batteries, agglomeration plants, blast furnaces, basic oxygen furnaces (BOFs), and the fossil-fired reheating of slabs for downstream processing. Compared to the traditional downstream process—continuous casting machine, reheating furnace, hot mill, and cold mill—Arvedi-ESP direct rolling emits less than 95% CO<sub>2</sub> (Fig. 2).

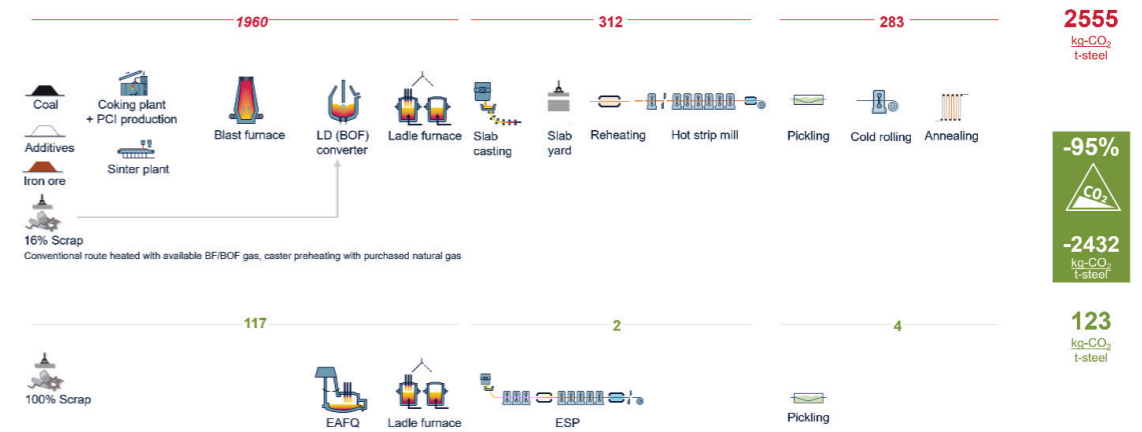


Fig. 2: Comparison of typical CO<sub>2</sub> emissions between an integrated steel production route and an optimized scrap, based EAF-ESP route.

Hybrid mills that operate both BF/BOF and EAFs in parallel will also become a trend for steel producers. These early transitions to electric steelmaking can be seen in the Turkish market, where 70% of crude steel production utilizes EAFs. Moreover, several new investments show the expansion of Turkish metals producers' electric steelmaking capabilities. Additionally, the increased use of scrap combined with electric arc furnaces significantly reduces emissions. To this end, Turkey saw a 16% increase in scrap consumption from 2020 to 2021. As scrap usage and electric steelmaking expand, a closer look at supply chain management and the integration of Industry 4.0 strategies will be essential to increased sustainability in the steel industry.

While mini-mills will ensure improved energy efficiency and benefit the circular economy, the reality of the supply chain for input materials will become more and more relevant as time goes on. Incorporating Industry 4.0 into sustainability practices of steel producers and supply chain management may go a long way toward improving overall emissions. Studies have shown immediate sustainability improvements and performance improvements by integrating Industry 4.0 solutions.<sup>9</sup> In sustainable supply chains worldwide, assessing factors including backward logistics integration, recycling and recovery, and environmental indicators, including CO<sub>2</sub> emissions, will make Industry 4.0 technologies integral to a transition to sustainable steel production.<sup>10</sup>

An essential aspect of incorporating Industry 4.0 technologies into the steel industry, especially concerning the supply chain, is the use of scrap. As previously mentioned, scrap recycling and reuse in electric arc furnaces allow for the lowest carbon footprint in steelmaking. However, several drawbacks impact scraps' immediate use value, making it part of mid-term goals for steel producers. Increased demand for steel means an increased demand for high-grade steel. Due to contaminants, such as copper, sulfur, and phosphorus, scrap cleaning is necessary and must be continuously improved to meet steel-grade standards. Scrap cleaning, sorting, and automatic identification to produce "design scrap" will be essential to increasing scrap's recyclability.

A fully automated scrap yard integrated into either an EAF or BOF process control system would simultaneously increase efficiency and reduce emissions. Yet, scrap availability still poses the most significant problem to the feedstock, meaning virgin feed material will continue to dominate for steel producers. Studies report a global scrap availability of around 900 million tons per year in 2050, while demand is predicted to reach about 2,200 million tons of steel in the same year. Thus, the amount of steel unable to be produced by recycled scrap requires virgin iron ore feed. Fortunately, the potential to reduce CO<sub>2</sub> emissions in this area is high.

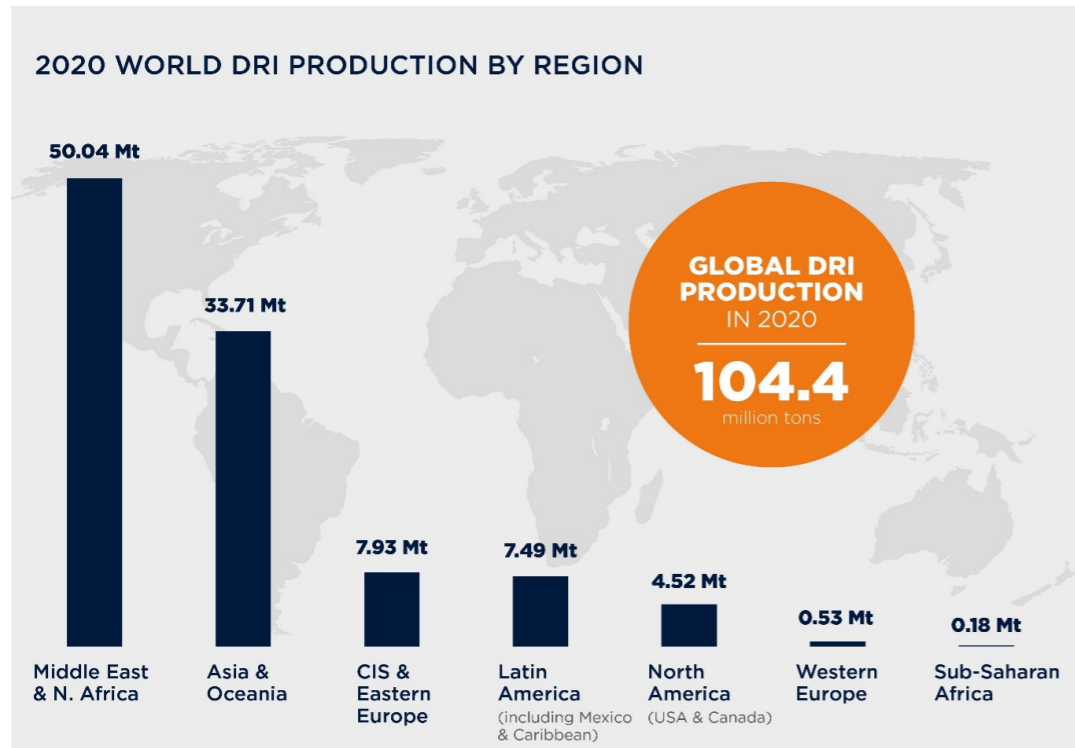


Fig. 3: Courtesy of Midrex Technologies' 2020 World Direct Reduction Statistics, this map shows the global DRI production based on region.

To compensate for the limited amount of scrap available worldwide and allow for high-grade steel production, increased use of direct reduced iron (DRI) and hot briquetted iron (HBI) will play a crucial role in the decarbonization of the steel industry (Fig. 3). More direct reduction facilities utilizing the MIDREX direct reduction process or others based on natural gas will significantly decrease CO<sub>2</sub> emissions. Direct reduction based on natural gas and EAFs powered mainly by renewables reduces CO<sub>2</sub> emissions by 65% compared with the BF/BOF route. Currently, the production of DRI is based on high-grade pellet feed. As blast furnaces will gradually be blown down over the coming decades, the lower-BF-grade iron ore will have to find its way into direct reduction. While there is no immediate concern for the direct reduction process per se, higher gangue amounts persist in DRI/HBI and will generate vast quantities of slag—i.e., 300 kilograms or more per ton of steel an EAF. Maintaining an appropriate metal yield requires electrically heated furnaces—i.e., smelter furnaces—under a reducing atmosphere, which allow a significantly reduced slag with a low iron oxide content, likely suitable for use in the cement industry. Smelter furnaces are also mainly heated by resistivity without any free arcing, maintaining a long refractory campaign lifetime. However, no one transition technology is enough to achieve net-zero green steel.

### Leaving Carbon Behind (Green Steel Phase)

The Green steel phase is based on three pillars:

1. Electrification
2. Carbon Direct Avoidance
3. Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

#### 1. Electrification:

Looking plainly at the steel industry and increasing demands for steel production in the coming decades means a massive increase is needed for clean, renewable energy to match the demands of this energy-intensive industry. First, to feed a significant number of electric furnaces, and second, to produce the green hydrogen required to replace carbon-based reductants. Additionally, renewable energy, such as solar and wind energy, needs more steel per energy unit built than most fossil fuel-powered plants. An increase in the adoption of renewable energy also means an increase in the amount of steel needed by the energy sector.

#### 2. CDA:

The principal reduction of iron ore is limited to three pathways: carbon-based reduction, a common practice to date; hydrogen-based reduction, the near future; and direct electrolysis of steel, still in its infancy. The only realistic scenario today remains to establish a hydrogen economy. Recent large-scale hydrogen projects address two main roadblocks: hydrogen production at scale and the feasibility of renewable-based hydrogen production. A mid-term green hydrogen price of less than \$2/kg suggests these roadblocks will diminish sooner than later.

#### 3. CCUS:

Asset lifetime in the steel sector exceeds 40 years, and many upstream ironmaking facilities in India, China, or other regions are still very young. Here, Carbon, Capture, Utilization, and Storage (CCUS) comes into play. CCUS captures CO<sub>2</sub> with state-of-the-art processes, like Mitsubishi Heavy Industry's unique Kansai Mitsubishi Carbon Dioxide Recovery Process (KM CDR) amine scrubber-based capturing system. After capture, the concentrated and pure CO<sub>2</sub> can be compressed and safely stored underground. Alternatively, it can be used for enhanced oil recovery purposes (EOR) or other chemical products. For example, LanzaTech's proprietary microbial fermentation process ferments CO<sub>2</sub>, CO, and hydrogen into ethanol, or eFuels, and other base chemicals.

#### Direct Reduction – A cornerstone to achieve net-zero:

Returning to a look at direct reduction as a pathway for CO<sub>2</sub> emissions reduction, one notes that the MIDREX direct reduction process, which reduces CO<sub>2</sub> emissions by 65% using natural gas, can already transition to operate partly or entirely on hydrogen. With green hydrogen-based reduction and renewable energy, steel producers have the most environmentally friendly production route. The Hydrogen/EAF route still has slightly higher CO<sub>2</sub> emissions than a 100% scrap-based EAF steelmaking powered by renewables. Still, the virgin high-quality feed material can accommodate high-end steel grades, which is undoubtedly a limit with the scrap EAF route. However, this route faces its own set of challenges. By relying on high-grade iron ore to produce high-grade DRI, the limited availability of high-grade iron ore will present a new challenge.

While shaft-based DR processes require pellet feed and additional pelletizing plant capacity, and since not all ores are suitable for pelletizing, the challenge of low-grade iron ore in the production route remains. Primetals Technologies is already addressing this challenge and has been developing the hydrogen-based fine ore reduction, or HYFOR, technology.

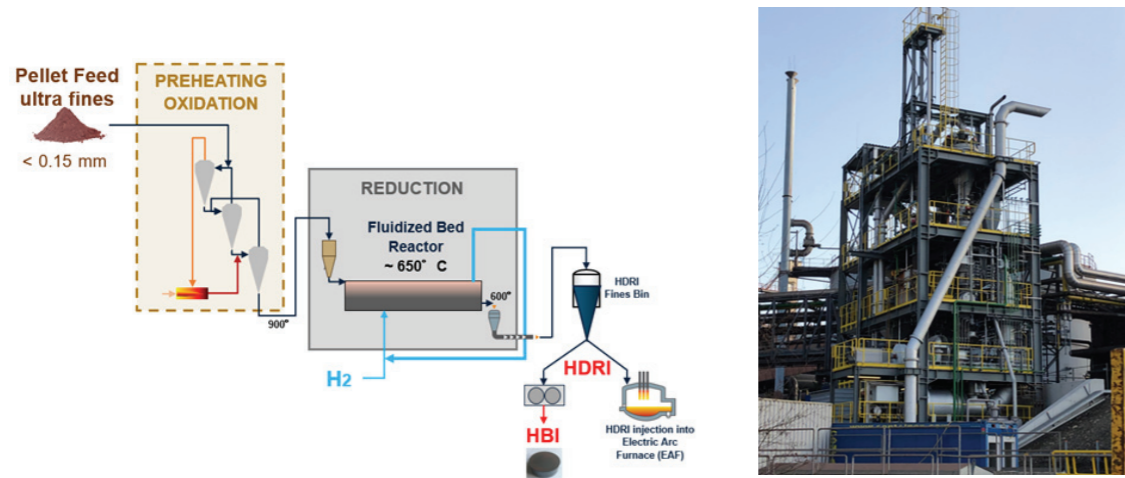


Fig. 4: HYFOR process flow sheet and photo of the pilot plant installation

After several years of initial lab-scale and simulation test work, a pilot plant at the voestalpine works in Donawitz, Austria, has been installed. HYFOR went into operation in June 2021. Since then, it has caught the attention of many in the industry for its innovative direct reduction process—i.e., the direct use of iron ore fines and pure hydrogen. It removes the necessity to invest in a pelletizing plant for steel producers, sparing crucial investment capital. Moreover, regions rich in low-grade iron ore fines have an opportunity to put their natural resources to immediate use in the steelmaking process. Nonetheless, the transitional phases necessary for the steel industry to reach carbon neutrality will demand diversified steel production in a more global and modular approach with mixtures of various technologies worldwide (Fig. 5).

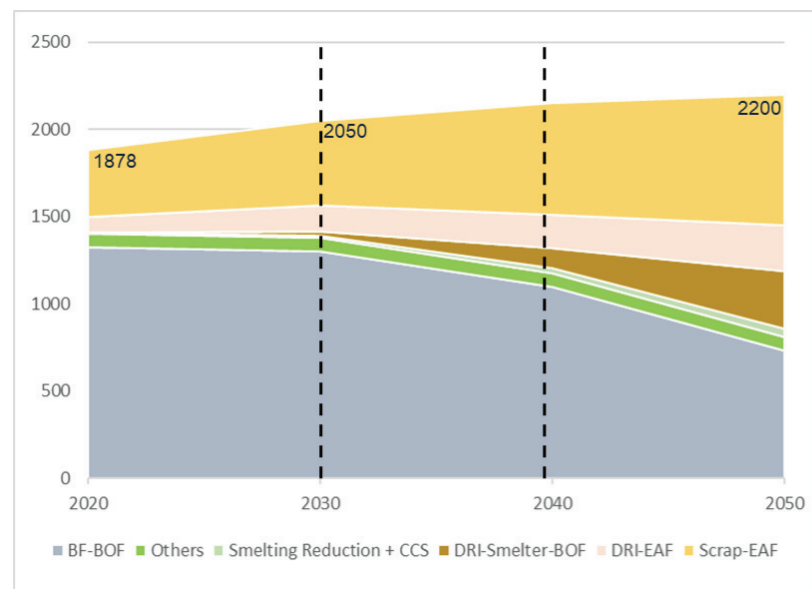


Fig. 5: According to Primetals Technologies own research, the steelmaking processes will see a significant shift towards DR/EAF/Smelter routes over the next decades

Within the next several decades, there will be an increase of nearly 150 new direct reduction plants, and 50% of them will operate on low-grade iron ore by 2050. Additionally, HBI is traded to a limited amount today, but near-term direct natural gas gradually switches to hydrogen as soon as it is economically viable and at scale.\* Achieving net-zero emissions and hydrogen production at scale will require large-scale, stable renewable power grids to grow the electrification pathway, a developed green hydrogen economy, and the establishment of carbon capture utilization and storage (CCUS).

What will begin as an increase in direct reduction and EAF steelmaking will mark a decline of BF/BOF steelmaking from 70% of the market share to 33% by 2050. One primary reason for this is increased developments of technologies that will aid in the prolonged use of the traditional BF/BOF integrated route—i.e., CCUS. The IEA anticipates that by 2050 CCUS will process approximately 400 Mt of CO<sub>2</sub> per year. As a part of the MHI Group, Primetals Technologies benefits from its full spectrum of decarbonizing solutions for the steel sector, including CCS with its unique KM CDR Process (Fig. 6) and H<sub>2</sub> electrolysis, compression, distribution, and shipment technologies. A recent study in 2020 explored the application of the KM CDR Process on a coal-fired power plant.<sup>11</sup> This study concluded that a 99.5% capture rate is technically feasible with the KM CDR process, including relatively normalized OPEX and a mere 6% increase in CAPEX to achieve 99.5% compared to the base case of 90%.<sup>12</sup> Yet, this study only examines the capture capabilities of KM CDR for CO<sub>2</sub> from a coal-fired power plant. While already approaching near-zero emissions for a coal power plant, in theory, the application of CCUS for the steel industry, which already has several off-gas treatment and low-carbon steelmaking solutions, means the sector is primed to act efficiently and economically to reduce CO<sub>2</sub> emissions.



Fig. 6: KM CDR Process Commercial Achievements worldwide demonstrate the adoption of the KM CDR method globally. Courtesy of MHI.com and Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

\* To directly convert steel production and direct reduction plants to hydrogen would mean 72 million tons of hydrogen per year and 4000 TWh of green renewable electricity per year.

## Conclusion

The ability for the steel industry to leave carbon behind rests not only with steel producers but with several industries reliant upon one another to move forward toward carbon neutrality. New cooperations will gradually emerge worldwide as the availability of inexpensive renewable energy and raw materials will be a deciding factor in how and where industry leaders appear and may inform how current leaders adapt to maintain their position.

The IEA names several vital research projects working toward net-zero emissions, including HYBRIT in Sweden—developing hydrogen-based DRI production—, HISarna in the Netherlands—testing smelt-reduction in combination with carbon capture and storage and operating a pilot plant—, COURSE 50 in Japan—developing emissions-reducing features to recover gases from the blast furnace, reform coke oven gas into hydrogen to be repurposed as fuel, and applied carbon capture solutions—, Siderwin project—developing low-temperature electrolysis—, and Boston Metal—developing high-temperature electrolysis. These projects involve international cooperation, which further emphasizes climate change as a global challenge and signals the interconnected nature of the steel industry. In this spirit, Mitsubishi Heavy Industries Group and Primetals Technologies joined the Heavy Industries Low-carbon Transition Cooperative Research Centre (HILT CRC) in Australia, dedicated to decarbonizing the heavy industries sector. Steel producers will soon feel the impact of these research efforts as energy costs, carbon border taxes, and raw material acquisition play a deciding factor in the industry's future.

To illustrate this point, we may briefly look at two countries with different advantages for the steel industry and how new partnerships can ensure mutual success and reduce CO<sub>2</sub> emissions worldwide. While an increase in direct reduction will certainly impact emission reductions, where these plants are located will come down to two essential factors—i.e., the cost of energy and natural resources. Australia is the largest exporter of iron ore. Most of Australia's iron ore is imported by East Asian countries, including China, Japan, and Korea. Compared to Korea and China, Japan's high energy prices make it more economical to invest in the direct reduction of iron in Australia before exportation. This advantage for Japan would also shift production practices in Australia, which is already developing hydrogen-based green solutions applicable to direct reduced iron.

Simultaneously, scrap-based EAF steel production in China cannot accommodate the increased demand for steel without importing raw materials, including high-grade HBI, which is directly applicable in EAF steelmaking. Thus, cooperation between these countries in terms of direct reduction of iron ore based on energy prices, carbon tax adjustments, and the availability of raw material will determine how steel production progresses in the region and impact the adoption of green technologies. Most importantly, the technologies available to reduce carbon emissions apply across the production chain from agglomeration to primary and secondary metallurgy to rolling. The path forward for the steel industry to net-zero emissions will be complex and winding, but innovations such as HYFOR and KM CDR help maintain optimism. With the realities of climate change set in, there is a call for steel producers to overcome these challenges, adopt future-ready solutions, adapt to hydrogen-based electric steelmaking, and leave carbon behind.

<sup>1</sup> COP26. "The Climate Pact." Presented at the UN Climate Change Conference UK 2021, Glasgow, UK, November 12, 2021. <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>.

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> Vass, Tiffany, Peter Levi, Alexandre Gouy, and Hana Mandová. "Iron and Steel – Tracking Report." *International Energy Agency* (blog), November 2021. <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel>.

<sup>4</sup> Ibid.

<sup>5</sup> Chalabyan, Avetik, Lapo Mori, and Steven Vercammen. "The Current Capacity Shake-up in Steel and How the Industry Is Adapting." *McKinsey & Company* (blog), January 12, 2018. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-current-capacity-shake-up-in-steel-and-how-the-industry-is-adapting>.

<sup>6</sup> De Clercq, Friso, Adrian Doyle, and Tom Voet. "High Coking Coal Prices Provide Glimpse into Steelmaking's Future." *McKinsey & Company* (blog), January 25, 2022. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/high-coking-coal-prices-provide-glimpse-into-steelmakings-future>.

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> Vass, "Iron and Steel – Tracking Report," November 2021

<sup>9</sup> Luthra, S., and S. K. Mangla. "Evaluating Challenges to Industry 4.0 Initiatives for Supply Chain Sustainability in Emerging Economies." *Process Safety and Environmental Protection* 117 (July 2018): 168–79. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>.

<sup>10</sup> See Also, Pourmehdi, Mohammad, Mohammad Mahdi Paydar, Pezhman Ghadmi, and Amir Hossein Azadnia. "Analysis and Evaluation of Challenges in the Integration of Industry 4.0 and Sustainable Steel Reverse Logistics Network." *Computers & Industrial Engineering* 163 (January 2022). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107808>.

<sup>11</sup> Hirata, Takuya, Tatsuya Tsujiuchi, Takashi Kamijo, Shinya Kishimoto, Masayuki Inui, Shimpei Kawasaki, Yu-Jeng Lin, Yasuhide Nakagami, and Takashi Nojo. "Near-Zero Emission Coal-Fired Power Plant Using Advanced KM CDR Process™." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 92 (January 2020): 102847. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102847>.

<sup>12</sup> Ibid.

## Turning Metals Green – Three Major Pathways to Decarbonize Steelmaking

Metalin Yeşil Dönüşümü: Düşük Emisyonlu Çelik Üretimi İçin Üç Temel Yol



**Tim KLEIER**

SMS Group - Germany

The global iron- and steelmaking industry is undergoing a profound transformation, which is being further driven by political framework conditions to curb climate change, stakeholder expectations, and rising demand in decarbonized products.

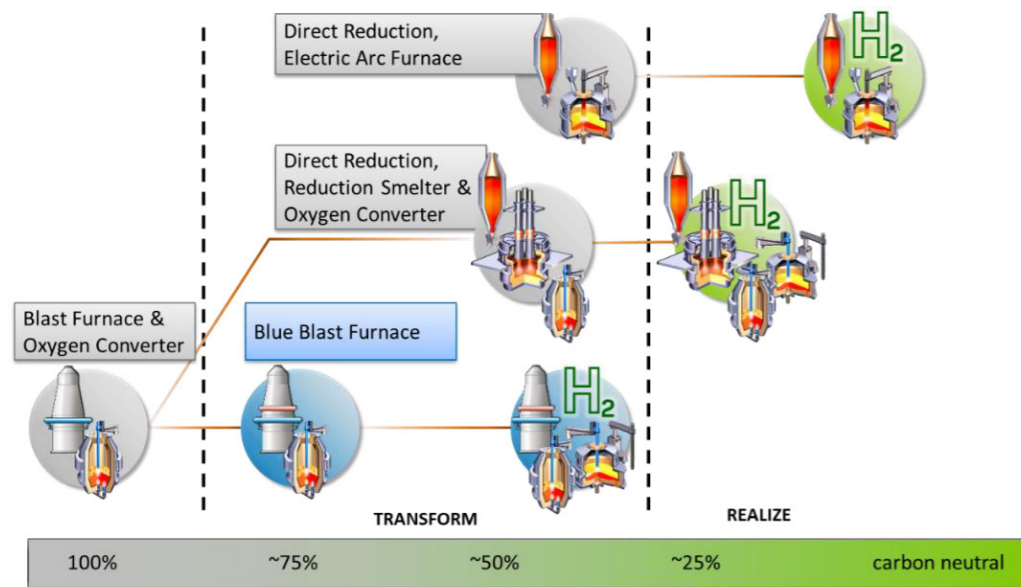
Today, the steelmaking industry is responsible for around 8% of global CO<sub>2</sub> emissions. However, compared to other sectors, the necessary technical solutions are well developed and can be implemented relatively swiftly.

One such future solution is the application of hydrogen as a fossil carbon substitute for iron reduction. The use of

one ton of climate-neutral (green) hydrogen in iron- and steelmaking saves an estimated 26 tons of CO<sub>2</sub> compared to the classic blast furnace route.

However, even without hydrogen, the use of natural gas based direct reduction in combination with an electric arc furnace or a reduction smelter is immediately available to cut specific emissions per ton of steel in half.

Finally, and importantly, steel is perfectly suited to a circular economy due to its being a 'permanent material', suitable for repeated recycling.



The three major pathways to decarbonize steelmaking

### The steelmaking dilemma

There is a dilemma however: On the one hand, stakeholders demand immediate action, especially as the individual technologies are mostly proven or are in the stage of initial industrial application and can be scaled up

rather quickly. On the other hand, the conditions for economical large-scale operation of new routes differ quite substantially from traditional iron- and steelmaking, and hence require infrastructure development, supply chain adjustments, as well as policy support.

In addition, integrating these individual technologies to achieve the greatest emission reduction and to fulfil the requirements to flexibility and availability is no trivial task. Meeting these expectations requires deep industry knowledge and understanding of the processes old and new.

This becomes amplified, when an existing iron- and steelmaking facility is to be transformed along a decarbonization roadmap spanning years or even decades. Such a roadmap requires the coexistence of, and potentially also the cooperation with, the existing facilities and the newcomer technologies in terms of material flow, final product quality requirements, main maintenance cycles, redundancy in operations, etc.

### Pathway 1: The 'Blue' Blast Furnace

The integrated Blast Furnace - Basic Oxygen Furnace (BF-BOF) route uses large amounts of iron ore – in many cases, ore with only low iron content (typically 65% Fe or less). In this process, limited quantities of scrap (about 20 percent) can be added during the BOF process. Due to the use of a large amount of coke for iron ore reduction, the BF-BOF route is the steelmaking route with the highest CO<sub>2</sub> emissions.

Technology painstakingly developed by Paul Wurth provides a substantial enhancement of both blast furnace and coke-making processes, reducing the coke rate to as little as 200 kg per ton of hot metal, with reduced CO<sub>2</sub> emissions as a result.

In order to maximize the scrap rate, electric arc furnaces or, for example, the SMS CONPRO technology, can be used in the steelworks. This approach is limited only when specific product quality requirements rule out the use of lower quality scrap grades (potentially contaminated with Cu, Sn, Ni, Mo).

### Pathway 2: Replacing the blast furnace with direct reduction & reduction smelter

In this route, the blast furnace is substituted by a combination of the MIDREX<sup>®</sup> direct reduction process and an Open Bath Furnace (OBF). Initially, it is possible to run the direct reduction process on a natural-gas basis and with the use of hydrogen in place of natural gas at gradually higher rates.

The OBF, developed from tried and tested technology by our SMS group subsidiary Metix, is similar in design to a conventional Submerged Arc Furnace (SAF). Here, we count on a legacy of several hundred SAF references to deliver a pyro vessel tailored for high throughput, hot metal production. The main feedstock in this route remains a BF-grade iron pellet. One noteworthy advantage is the ability to add iron-bearing wastes (up to 5% of overall charge), such as BF and BOF dusts, mill scale and others that originate from the steelmaking complex. When integrating this route into an existing integrated plant, SMS' and Paul Wurth's respective 150 years of experience in iron- and steelmaking are a valuable asset when designing the interfaces and maximizing emissions reduction while maintaining, or even boosting, competitiveness.

### Pathway 3: Immediate coupling of direct reduction and electric arc furnace

In a greenfield project and with green hydrogen available at competitive prices in sufficient quantities, a completely different approach can be adopted. Pre-reduced DR grade iron ore pellets (for instance, from a MIDREX<sup>®</sup> shaft) are hot charged into an electric arc furnace. No intermediate step is required and – depending on the specified final grade – only minor carburization is needed to reduce the nitrogen in the steel. From the outset, scrap can be added to the furnace at higher rates, with only the quality requirements of downstream processing stages setting an upper limit here.

Due to the immediate connection of all facilities, this route has the potential to come closest to carbon neutrality. This is especially so when the lean concept is extended downstream with a highly efficient CSP<sup>®</sup> or CSP<sup>®</sup> Nexus plant, which is a combined thin slab casting and direct rolling plant.

### First steps: The decarbonization roadmap

However, the first step is always the most challenging. It requires a sound basis to substantiate investment in a new value chain, made more difficult in this period of extreme market volatility. SMS group can support this with the development of a credible decarbonization roadmap, providing substantial knowledge across the value chain.



# Danieli Digimelter Eco-Pro a Design for the Future



**Paolo BURIN**

Danieli - Italy

### 1. Abstract

The environmental implications of carbon emissions are well known since decades and have been highlighted by the scientific community along the years. Today, the impacts of such emissions on climate change have moved from scientific papers to our personal experiences. It is clear a shift in the industry paradigms is needed, and that's why sustainability is a business imperative and should be much more than corporate social responsibility. The green transition undertaken worldwide is leading many of the Steel Producers to increasingly embrace the highly productive continuous-charge Electric Arc Furnace (EAF) technology, based on the added flexibility of charging mix, greater respect for the environment, and incomparably lower CO<sub>2</sub> emissions if compared with traditional integrated production processes. To meet the new global emission targets, Danieli has introduced the Digimelter Eco-Pro, integrating eco-friendly solutions to exploit renewable energy, minimize emissions, improve quality and operative costs.

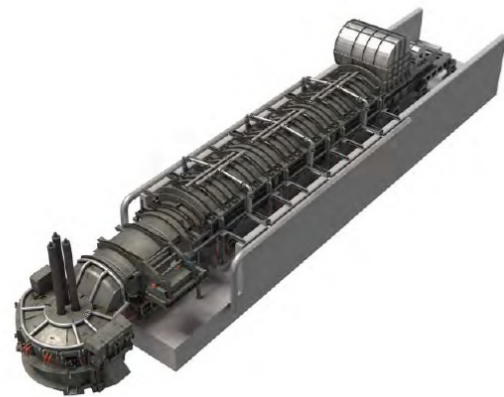


Figure 1. New Danieli Digimelter Eco-Pro furnace

### 2. DIGIMELTER ECO-PRO

Danieli Digimelter Eco-Pro evolves the conventional electric arc furnace in all aspects:

**-Equipment:** with the new **Eco-Pro** airtight design, Danieli has further improved the Zerobucket technology to be the most environmentally friendly melting technology. Characterized by high flexibility in raw material, low energy consumption, very high reliability and utilization factor, lowest noise and pollution

emissions, Danieli DIGIMELTER ECO-PRO is the perfect answer to the latest needs of the steel making industry.

**-Power:** conventional transformers, reactors, SVC, switchgears are fully replaced by the **Q-One**, the latest Danieli patented technology for EAF power management. Thanks to the control capabilities provided by power semiconductor devices, Q-One digitally controls Voltage, Current, Frequency and Phase unbalancing. In addition, Q-One is natively ready for direct feeding of energy coming from renewable sources such as solar farms, windmills, etc.

**-Intelligence:** reducing process variability for increasing production efficiency. The Danieli **Q-Melt** automatic process control adopts artificial intelligence and makes the necessary process adjustments, dynamically and automatically, according to the best practice. With Q-Melt, the Digimelter is operated in Autopilot mode, minimizing the intervention of the operators.

The Digimelter Eco-Pro airtight design is conceived to reduce to the minimum the emissions of pollutants such as NO<sub>x</sub>, and to minimize the CO<sub>2</sub> equivalent. Every detail of the Digimelter has been carefully optimized in order to minimize air inlet to the melting area. The furnace is kept always sealed, thanks also to the **Thor 3K** automatic slag door and improved sealing between the furnace and the continuous charging conveyor (ECS).

In addition, a special dynamic sealing system on roof delta and V hole chute prevents cold air to enter the furnace from these gaps, as well as avoiding dust and fumes to escape from the furnace during operation. Furthermore, thanks to the innovative Q-SLC® level sensor, it is possible to accurately and continuously measure the steel level inside the furnace during process.



Figure 2. Thor 3K Automatic Slag Door

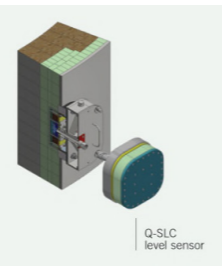


Figure 3. Q-SLC Steel Level Control

The process itself is controlled automatically by Q-Melt, leading to a minimization of oxygen and carbon injection, thus ensuring the most efficient melting at the lowest CO<sub>2</sub> footprint. Thanks to the Q-One power system, the individual working points and phase control minimizing the arc exposure. By digitally controlling the arc length arc coverage is assured, thus reducing the NO<sub>x</sub> formation, as well as reducing the energy losses towards hot spots thanks to the automatic phase balancing control.

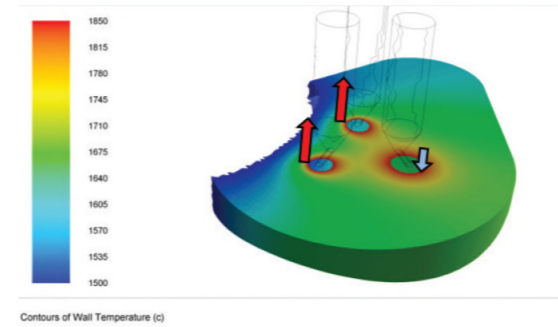


Figure 4. Digimelter Eco-Pro – Power unbalance in favor of scrap entry area

The Digimelter Eco-pro optimizes all operating parameters, resulting in significant OpEx advantages, higher productivity and efficiency, while minimizing pollutant emissions. Zerobucket provides significant electrical energy reduction compared to batch charging: thanks to Q-MELT and Q-ONE, energy utilization is further reduced by an average -8% compared to a conventional transformer - SVC - reactor system.

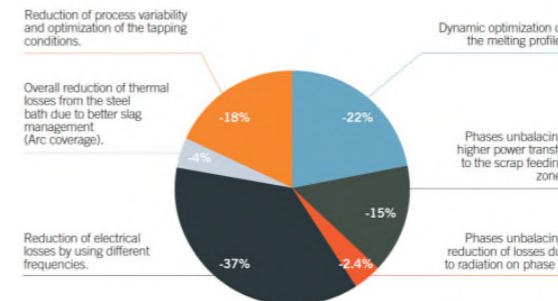


Figure 5. Digimelter process benefits

Current, voltage, air inlet and the foaming slag control provide very smooth furnace operating conditions, reducing electrode consumption by ~15%.

### 3. Environmental benefits

Compared to traditional EAF emissions, Scope 1 and 2 emissions are reduced by 60%, and scope 2 emissions by 25%. Other pollutants, such as NO<sub>x</sub>, are reduced by 75%.

Environmental benefits	Traditional	Digimelter ECO PRO
CO <sub>2</sub> scope 1 [kg/t]	88	35
NO <sub>x</sub> [gr/t]	< 90	< 23

Figure 6. Environmental comparison EAF vs DIGIMELTER

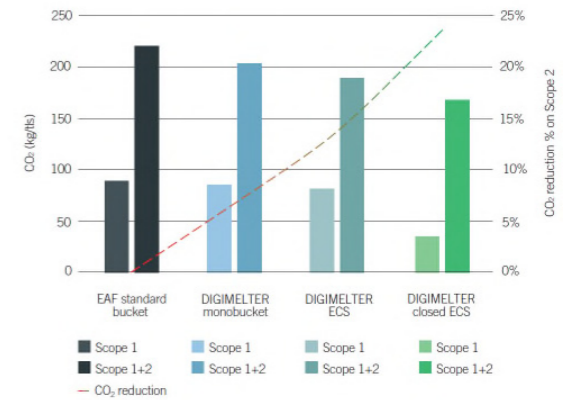


Figure 7. CO<sub>2</sub> footprint comparison

### 4. Conclusions

Danieli Digimelter Eco-Pro is the result of years R&D investments in the EAF technology, with Digimelter being the result of a metamorphosis towards "green" melting. Minimizing pollution, production costs, noise generation and electrical network requirements while offering high-quality steel and flexibility in raw material selection, the Danieli Digimelter Eco-Pro can be installed almost everywhere: a true alternative to the integrated steel route.

## Technologies for Immediate Decarbonisation and Use of Hydrogen in Iron & Steel Making



**Joachim von SCHÉELE<sup>1</sup>, Yigit KURTTEPELİ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Linde Technology, <sup>2</sup>Linde Gas Turkey - Türkiye

Decarbonisation is a journey over decades, where steelmakers can take short term steps with incremental and stepwise sustainable decarbonisation approaches that are affordable today, and then start applying hydrogen when viable. Energy efficiency improvements with oxyfuel combustion – with fossil fuel savings of 20-60% – offers immediate CO<sub>2</sub> reductions with low CAPEX commitments on several unit processes. Proven oxyfuel based solutions can reduce the steel industry's CO<sub>2</sub> emissions by 200 million TPY and are ready for use of hydrogen.

Integrated steel mills can decarbonise by raising blast furnace tuyere injectant levels using external gasification and biomass injection, Stove Oxygen Enrichment and Flue-gas Recirculation, increasing the scrap ratio in BOF converters, and by charging DRI/HBI produced by the gasification of low carbon footprint feedstocks and alternate fuels such as coke oven gas. CCUS can be applied on blast furnaces and at DRI shafts using natural gas.

Beyond the reduction step, several proven technologies are available to successfully create decarbonisation, using hydrogen now or later. Linde introduced the CoJet technology 25 years ago, and it has revolutionized electric arc furnace (EAF) operation; CoJet, already with over 170 installations, is now available with hydrogen as fuel. Linde is the world-leader in use of oxygen in steel reheating where its REBOX oxyfuel solutions have been installed in more than 180 reheat furnaces of all kinds. The successful use of 100% hydrogen as fuel together with Flameless Oxygen has been demonstrated in full production scale at Ovako, Sweden. In both ladle preheating and steel reheating, results include fuel savings of up to 60% and reduced emissions of CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, and – as proven at Ovako – Flameless Oxyfuel is ready to use with hydrogen to eliminate the use of fossil fuel completely. Full-scale installations of Flameless Oxyfuel using 100% hydrogen as fuel are scheduled for commissioning in ladle preheaters and reheat furnaces within the coming twelve months.

## Utilization of Static and Dynamic QR Code at Emirates Steel



**Abdelmoneim TAWFIK**

Emirates Steel - BAE

### Showcasing Globally Certified Products

One of the key objectives at Emirates Steel is to showcase its certified product quality & conformity in a digital platform and to be accessible to all our international customers and stakeholders. In line with this objective, Emirates Steel worked in collaboration with UK CARES' on digitalization initiatives to enable the digitalization of quality records of its CARES certified products, and facilitated following key constituents,

#### Static QR Code:

This code is unique for Emirates Steel. It is printed onto the product tags of each bundle & coil of CARES certified products. This will allow the stakeholders to scan this QR Code using CARES Cloud app. and to verify the certification status of Emirates Steel and the CARES certification scope.

#### Dynamic QR Code:

This code is unique for each heat supplied by Emirates Steel, specific to the size and grade. It is printed onto the product tag of each bundle & coil via our mill automation system. By scanning this QR code using CARES Cloud app, stakeholders will be able to see the digital records of the heat and verify and validity heat information such as chemical analysis results, mechanical test results, traceability, bar marking, etc.

#### CARES Cloud:

It is a virtual space maintained by UK CARES, accessed through CARES App, using the login credentials provided by UK CARES. The heat information is automatically uploaded into the cloud using SAP facility to facilitate the remote accessibility for all interested parties (using CARES Cloud app.) who got the consent from CARES. This will help stakeholders to validate test data and verify marking & traceability.

#### Towards ES Vision:

This quality records' digitalization facility enhances the trust of stakeholders and ensures the quality data reaches our customers without the risk of any fraud or unethical fabrication. In addition, it ensures accuracy, reliability, accessibility and effective archive. This, in turn, enhances Emirates Steel image and reputation across the world.

## Digital Transformation of the Steel Supply Chain

Çelik Tedarik Zincirinde Dijital Dönüşüm



Lee BRANKLEY<sup>1</sup>, Ladin CAMCI<sup>1</sup>, Ayhan TUGRUL<sup>1</sup>, Andac BIRISCI<sup>1</sup>,  
Andrew WOOLNOUGH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CARES, <sup>2</sup>CARES Digital Partner / Digital Construction Solutions - UK

### Abstract

Organisations are geared to an intensification of competitiveness in the context of globalisation; the volatility of market demands; shortened innovation spans; and reduced product life cycles, as well as the increasing complexity around products and processes.

Digitalisation is not a simple transfer from analogue to digital data and documents, but represents a fundamental transformation in core business process networks, the creation of efficient interfaces and fully integrated data exchange and management [1].

The future of construction and steel industries is digital. It follows that digital transformation is one of the core elements of this ongoing industrial revolution.

This paper describes the CARES Digital Transformation approach covering all stages in the steel supply chain from receipt of raw materials, on to the manufacture and processing of steel products through to delivery to the end user. CARES digital solutions are being developed in support of the construction and steel industries drive towards greater traceability, safety and sustainability. These solutions also provide reliable, easily accessible product information and evidence of assurance.

### 1. Introduction and Background

The drive towards digitalisation is a central topic across all industries, revolutionising the design, production and organisation of the global value chain. Digital technologies promote new processes implementation along the entire value chain, through manufacturing and sales to services, concerning the use of a product, performed by research and development activities. For this reason, digitalisation should be considered a holistic approach that covers all areas and functions of an organisation in order to exploit digital potentials and analyse each stage of its value chain.

Digital transformation is one of the core elements of the ongoing industrial revolution. Digitalisation requires significant investment in people, processes and technology.

**People:** A culture change has to start with people. A digital transformation will only happen if the right people are

involved in the process, and if everyone is on board including Top Management with the changes that will happen across the business.

**Process:** A digital transformation process is about getting stakeholders to think and work more effectively, make smarter decisions, and use the right tools for the business. It's an opportunity for the organisation to see what processes can be automated and take a deeper look at the data to gain greater insight into the way the business runs and how to meet stakeholder needs more effectively.

**Technology:** Technology helps to enable process transformation. The organisation should define the right technology infrastructure to enable the future plans to ensure the growth and success. For example, Cloud is not a new technology and there are a wide variety of Cloud configurations available for businesses. Cloud architectures should be flexible, adaptable to changing regulations and business requirements.

The future of construction and steel industries is digital.

The construction industry accounts for 6% of the national economy and hires as many as 2.4 million workers in the UK – roughly 8% of the whole workforce. Yet, despite its national and indeed global importance, it has yet to undergo any significant digitalisation.

Increasingly, there is recognition across HMG that delivering the stated priorities of infrastructure investment requires a shift in thinking – with digitalisation holding the key. In a recent foreword to Flourishing Systems, an academic paper on the impact of climate change on current economic and social priorities Fergus Harradence, Deputy Director for Construction at BEIS, wrote [2]:

“The UK government has made clear that it places infrastructure at the centre of its vision for the nation – investing in infrastructure to level up prosperity and wellbeing across the country. Digitalisation, built on secure, resilient data sharing, has an important role to play in achieving this. As we emerge from the Covid-19 pandemic, it could be that digitalisation has reached a tipping point. The lockdown has required us to adapt quickly to digital ways of working, proven the robustness

of telecommunications systems globally, and shown the need for improved data.”

Investment in digital solutions is already beginning to have a positive impact, according to the recent survey [3]. It found 54% of organisations that had already adopted integrated digital practices had seen an increase in workforce productivity; 43% said business win rates had improved; and 56% had cut operating costs.

### 2. Digitalisation of CARES' operations and the reinforcing steel supply chain

Trust in safety critical products has been seriously undermined by fake data scandals and major disasters such as Grenfell Tower. Finding the truth of a product's provenance is never more needed than now – and reinforcing steel is one of the most safety critical elements in any project. Structural engineers also need to understand the environmental impact of their designs and in particular, the carbon footprint of the reinforcing steel.

The CARES Cloud digital solution is being developed to address and solve this urgent issue, bringing simplicity to a complex supply chain (Figure 1) while restoring trust where it's missing. By working collaboratively with stakeholders, the CARES Cloud tracks each batch of reinforcing steel from its point of origin to the construction site providing compliance and carbon footprint data plus sustainability credentials to achieve credits in BREEAM, LEED and/or CEEQUAL (Figure 2).

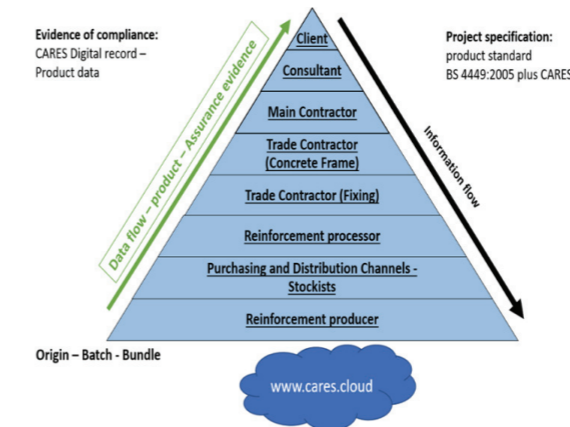


Figure 1. CARES assured reinforcing steel supply chain

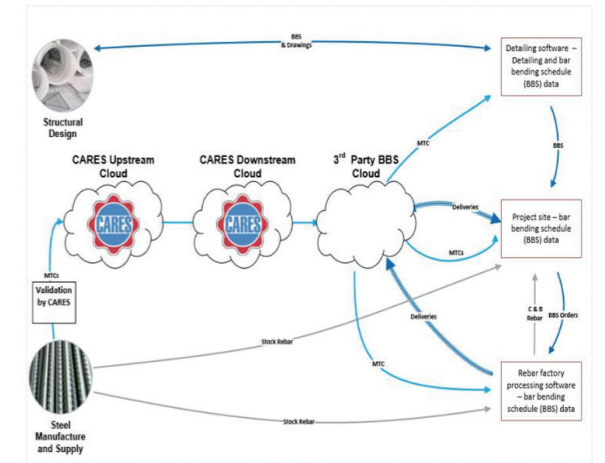


Figure 2. CARES digital supply chain

CARES is aiming:

- To make the CARES assured reinforcing steel supply chain the safest, most effective, efficient, digital and sustainable in the World.
- To ensure all reinforcing steel products are quality assured, responsibly sourced and evidenced by a CARES Digital Record.

Making sure products are effectively tested, certified, marketed, and traced complements CARES' independent assurance of product compliance from the CARES assured supply chain, including manufacturers, traders, and processors of reinforcing steels. The CARES Cloud enables real-time analysis of the manufacturing origin of the reinforcing steel and an accurate carbon footprint value for each tonne of reinforcing steel delivered.

This Cloud-based solution provides 100% accurate, reliable, easily accessible product information and evidence of assurance and journey throughout the supply chain, with the ability to update BIM models with data collected from the supply chain and seamless connectivity to other systems via secure Application Programme Interfaces (API's).

The digital platform uses customizable dashboards and a suite of Apps to allow online and hand-held scanners and smartphones to trace what has been manufactured, procured, fabricated and delivered in real-time. It replaces existing manual paper-based processes which are labour intensive, and vulnerable to damage or malicious alteration and potentially leave significant gaps in assurance trails. The CARES Cloud will also enable a value-based procurement approach providing a reliable digital twin of the installed (fixed) reinforcement.

3. CARES digital products

3.1. CARES Cloud

The CARES Cloud [4] ecosystem started development in 2016 to digitise a complex supply chain. It consists of Upstream Cloud and Downstream Cloud. The CARES Upstream Cloud is used by the CARES approved manufacturers. The CARES Downstream Cloud is planned to be used by the CARES Approved processors, projects and contractors.

The product test data for each cast of reinforcement produced is securely stored on the Microsoft Azure platform and provides real-time access to the product test data uploaded by the CARES approved manufactures.

This digital platform is built through an 'agile' development process, using a suite of Apps which allow online and hand-held scanners and smartphones to trace what has been produced, fabricated, delivered and installed in real-time.

It replaces existing manual paper-based processes which are labour intensive and prone to leaving significant gaps in assurance trails. The CARES Cloud will also enable a value-based procurement approach and provide a reliable digital twin.

The start of the journey from product testing to creation of the Dynamic QR Code is the uploading of product test data by the mills to the CARES Cloud as an XML file. The data requirements and format of the XML file is set out in the CARES Cloud Data Transfer Specification.

Two GUIDs namely "Test GUID" and "Digital Record GUID" are used to help identify data that is on the CARES Cloud. The "Test GUID" is simply a unique identifier for each of the test lines uploaded. The "Digital Record GUID" is used to create the Dynamic QR Code, which is printed on each label attached to every product bundle.

For each combination of Cast, Standard and Diameter, the CARES approved manufacture creates a Digital Record GUID. This acts as a reference that the manufacturer may, if required, store in their own systems to record the Digital Records created.

If required a Cast, Standard and Diameter combination can be split into multiple digital records. In Figure 3, all of Cast no "1000000001", Standard "BS4449:2005+A3:2016 Grade B500B", Diameter 32mm, has been put into one digital record, so all 4 testing records have the same "Digital Record GUID". Cast "1000000002", Standard "BS4449:2005+A3:2016 Grade B500C", Diameter 20mm, has been electively split into two sets of tests, stored on separate digital records, before upload.

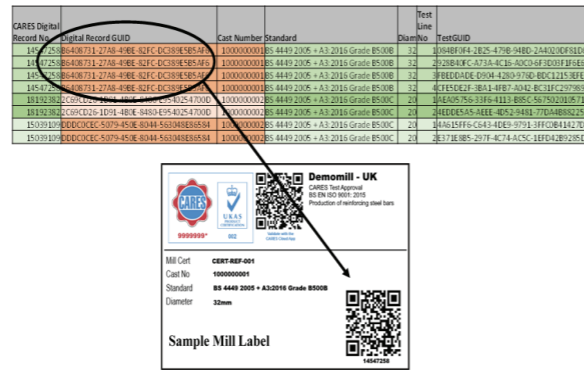


Figure 3. CARES "Digital Record GUID"

3.2. CARES Apps

A suite of CARES Apps have been developed and made available for use for a number of users groups, including internal users and external users. They contribute to improve the effectiveness and efficiency of audits, including with the audits of reinforcement manufacturers, traders, agents and processors.

CARES Cloud App was developed in 2019 and is available from the App Store for iOS device [5] and Google Play for Android device [6]. The App is capable to search CARES approved companies product markings, referred to as bar marks, report a concern for CARES approved companies and scan the static QR Code on the CARES certificate of approval to confirm the validity and scope of approval on the certificate.

CARES Auditor App was developed to help CARES auditors to report issues arising from CARES audits. The App has the same functionality as the CARES Cloud App and additional CARES Audit Functionality and is also used to scan the CARES Dynamic QR Code on labels.

CARES Upstream App was developed to help CARES approved manufactures to scan their CARES Dynamic QR Code on labels.

CARES Downstream App was developed to help CARES approved processors, projects and contractors in the supply chain to confirm the validity and scope of approval on the certificate; and to scan the CARES Static QR Code on labels/delivery notes to validate the Origin and Standard of Material used.

Further Apps are being developed to provide increased levels of traceability and record the flow of CARES approved Material used on projects

3.3. Industry standard QR bar codes

3.3.1. Static QR Codes

CARES Static QR Codes (Figure 4) provide evidence that the reinforcing steel was sourced from a CARES approved manufacturer with a valid approval to the relevant product standard. The information from the Static QR codes can only be retrieved by third parties (stockists, traders, processors, contractors, designers and clients) by using CARES Cloud App.



Figure 4. Scanning CARES Approved Company static QR code

3.3.2. Dynamic QR Codes

CARES Dynamic QR Code provides a link directly to the uploaded XML product test data by the manufacturers on the CARES Cloud. The data requirements and format of the XML file is set out in the CARES Cloud Data Transfer Specification

CARES Dynamic QR Codes (Figure 5) allow permitted third parties to retrieve an online digital record of the traceability, chemical composition and mechanical properties of the reinforcing steel. The information from the Dynamic QR codes can only be retrieved by permitted third parties (stockists, traders, processors, contractors, designers and clients) by using CARES Supply Chain Apps



Figure 5. Scanning CARES Manufacturer Dynamic QR code

3.4. Evidence of product compliance

**Assurance of product quality** - The digital portal enables a CARES Digital Record of each batch of reinforcing steel to be available in real-time as evidence of compliance to the reinforcing steel product standard and sustainability credentials, such as the carbon footprint. The CARES certificates of approval for all companies in the supply chain are available via a customised dashboard.

**Sustainability credentials** - The CARES sustainability certificates of approval and Environmental Product Declarations (EPD), including carbon footprint data, for all companies in the supply chain are available via a customised dashboard. It provides independent, reliable and verified carbon footprint data for each batch of steel reinforcement to enable carbon accounting.

**CARES Digital record** – enable digital compliance checking and provide a reliable digital twin.

**Material Compliance Report (MCR)** – Clients, such as Network Rail, require a Material Compliance Report which includes the sources of all materials, certification of all suppliers and product information at the batch level.

3.5. Enable value-based procurement

CARES Cloud enables a value-based procurement approach which will contribute to high level national / governmental strategic objectives:

- a) Supporting delivery of overarching economic, social and environmental goals
- b) Addressing the challenges of climate change in the built environment
- c) Supporting the transition of the steel sector to lower environmental impact and resource efficiency, in turn enabling the transition to the circular economy
- d) Encouraging and facilitating innovation and achieving the maximum benefit from long-term infrastructure investment.

Implement a digitally enabled upstream and downstream CARES Cloud integration to provide reliable and easily accessible product information and assurance for reinforcing steels from design to construction site. The digital ecosystem will include manufacturers and processors of reinforcing steels to create a proven BIM-enabled workflow, driving real-time manufacturing analysis, in turn providing accurate carbon footprint for each tonne of rebar installed.

CARES will provide a secure system of product provenance – and traceability – from the design stage, through to an 'a-built digital twin' including all data required to meet current and future safety and sustainability regulations - particularly key findings of the Grenfell Fire tragedy set out in the Hackitt report (Building a Safer Future), together with the Buildings Safety Bill and forthcoming 'Golden Thread' secondary regulations [7].

### Conclusion

CARES are committed to delivering the highest level of assurance and driving efficiencies through digital technology in the design, construction, maintenance and operation of assets built with CARES certified products.

CARES Digital Transformation Strategy represents a truly visionary solution at a time of critical global transformation in a core economic sector – construction – which has resisted change for too long. Through its bold, ambitious and timely scope, CARES goals deliver on the objectives and commitments detailed in the UK Government's Construction Sector Deal [8] and supports the objectives of complementary digitalisation policies in the construction industry [9].

CARES seeks to embed its digital transformation initiative as a core part of its Strategy and Action Plan. CARES' vision is to:

- Implement new technologies and systems which will transform the steel supply chain (Digital product traceability, compliance checking, BIM) and
- Continue setting the pace in collaborating with stakeholders including digital partners.

### References

- [1] E. Bogner, T. Voelklein, O. Schroedel & J. Franke, *Procedia CIRP*, 57, 14-19 (2016), Study based analysis on the current digitalization degree in the manufacturing industry in Germany.
- [2] Cambridge Centre for Smart Infrastructure & Construction (CSIC) (2020), *Flourishing systems, Re-envisioning infrastructure as a platform for human flourishing*.
- [3] Causeway Technologies - Construction's Digital Front Line (Autumn 2019)
- [4] CARES Cloud digital platform <<https://cares.cloud/>> Date: 10.04.2021.
- [5] CARES Cloud App - App Store for iOS device <<https://apps.apple.com/gb/app/cares-cloud/id1474099842>> Date: 10.04.2021.
- [6] CARES Cloud App - Google Play for Android device <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.app.carcloud&hl=en>> Date: 10.04.2021.

[7] Building Regulations Advisory Committee (BRAC) – Golden Thread Report - Building Regulations Advisory Committee: golden thread report -

<<https://www.gov.uk/government/publications/building-regulations-advisory-committee-golden-thread-report>> Date: 10.04.2021.

[8] GOV.UK - Policy paper - Construction Sector Deal (July 2019)

<<https://www.gov.uk/government/publications/construction-sector-deal/construction-sector-deal>> Date: 10.04.2021.

[9] GOV.UK - Policy paper - UK construction industry: digital technology (February 2015)

<<https://www.gov.uk/government/publications/uk-construction-industry-digital-technology>> Date: 10.04.2021.

## Leveraging Efficiency and Sustainability with Digital Solutions

Dijital Çözümlerle, Verimliliğe ve Sürdürülebilirliğe Seviye Atlamak



Can YALÇIN

SMS Group - Germany

### Abstract

Digitalization can significantly affect the transformation of the global steel industry toward sustainability and green production. By applying cutting-edge digitalization solutions fueled by artificial intelligence, the utilization of input energy can be handled more efficiently while, at the same time, product and process quality and stability can be predicted and optimized. By that, the metals industry's sustainability can be pushed even further, and thus scrap, downgrading, and energy waste be reduced.

### 1. Introduction

The world of metals becomes increasingly challenging. Global megatrends such as digitalization and the increasing social awareness of climate-related issues significantly impact businesses in general and the metals industry as one of the main emitters of greenhouse gases and energy consumers. In 2018 the production of 1 ton of steel emitted an average of 1.85t of CO<sub>2</sub>, equating to about 8% of the global CO<sub>2</sub> emissions. At the same time, around 13% of global CO<sub>2</sub> emissions are subject to taxing or other pricing schemes, and more than 100 countries have signed the Paris climate agreement, agreeing to reach net-zero CO<sub>2</sub> emissions by 2050.

These global trends are paralleled with additional market-related and process-related challenges, causing the metals industry to require solutions for **sustainably profitable plant operations**. Sustainability in this context is to be understood in both environmental and economic terms.

### 2. Technological enablers

To face the above-depicted challenges, it takes technology to form the foundation. Here younger developments have emerged that enable equipment suppliers to meet their customers' requirements on an entirely new level. These technological enablers are all related to the idea of IoT and mainly cover the fields of artificial intelligence, data-driven decision making, 5G data streaming, AR/VR/3d visualization, cloud

computing, big data, robotics and smart devices, and many more.

By harnessing the power of Industrial IoT, companies can achieve increased business outcomes. That's why harnessing the power IoT has become increasingly relevant for industrial manufacturing.

By bundling hardware, automation and software, and services into one solution, industrial companies can fully benefit from reliable data and insights which are converted into actionable items and direct operator guidance.

### 3. Autonomous Plant Operation

To ensure a sustainable and efficient metals industry, silos between various plants, process steps or functions must be overcome. An autonomous plant is a comprehensive and seamless network of hardware, automation, software, and services. The goal is a self-optimizing plant and production process, ultimately leading to maximum efficiency along the entire plant lifecycle.

#### 3.1. Building integrated solutions from domain knowhow and digitalization expertise

To tackle the metals industry's challenges, companies can no longer limit themselves to known solutions and approaches. The full scope of technology must be utilized. Yet, the metals industry is one of the most challenging industrial production environments. Domain know-how and the partly vast experience of metal-producing companies cannot be neglected to build technical solutions quickly and efficiently. The goal is to build integrated solutions based on domain expertise and digitalization know-how that bundle all available competencies regarding hardware, electrics, automation, digitalization, and maintenance.

#### 3.2. Integrated solution to leverage efficiency and sustainability in metals production

Digitalization forms the first substantial step toward a green steel industry, as it can be implemented in existing production routes without significant changes to the

process route and integrates the entire value chain down to the finished product. Cutting-edge software solutions for energy and sustainability management utilize platform technology that integrates energy, resources, and sustainability data into a harmonized infrastructure. They thus contribute to effectively implementing operational efficiency, optimized planning, and integrated process and production management.

#### 4. Conclusion

Due to the ambitious climate targets of many countries around the globe and the corresponding challenge to the metals industry, digital solutions can be the first step towards a sustainable and efficient transformation. By utilizing cutting-edge technology with domain know-how, integrated solutions can be compiled that combine hardware, electric, automation, digital solutions, and appropriate maintenance across a plant's entire lifecycle. For operators, these integrated solutions bring benefits concerning ecological sustainability and in economic terms as they positively impact aspects like plant availability, process stability, product quality, and yield.

## From Automation to Digitalization

Otomasyondan Dijitalizasyona



**Kurt HERZOG**

Primetals Technologies - Austria



**Digitalization solutions developed by Primetals Technologies are designed to analyze data, determine patterns, provide insights, and automatically implement recommended actions.**

In the steel industry, it is an undisputed truth that producers must embrace digitalization to prepare their businesses for increased competition and ever more stringent environmental regulations. Terms like data analytics, artificial intelligence (AI), or interconnected systems are more than just buzz words; they are critical concepts and the cornerstones of any steel plant's digitalization roadmap. Consequently, data—or, more specifically, data availability and utilization—has become the primary focus of Chief Technology Officers and Chief Digitalization Officers alike.

In Business-to-Consumer (B2C) scenarios, turning raw data into valuable insights to add value can be relatively straightforward. Historical data is collected and pooled in a so-called "data lake"—a storage repository capable of holding vast amounts of raw data in its native format—, allowing reports to be prepared using business-intelligence tools or generating insights using data analytics and AI to improve business performance.

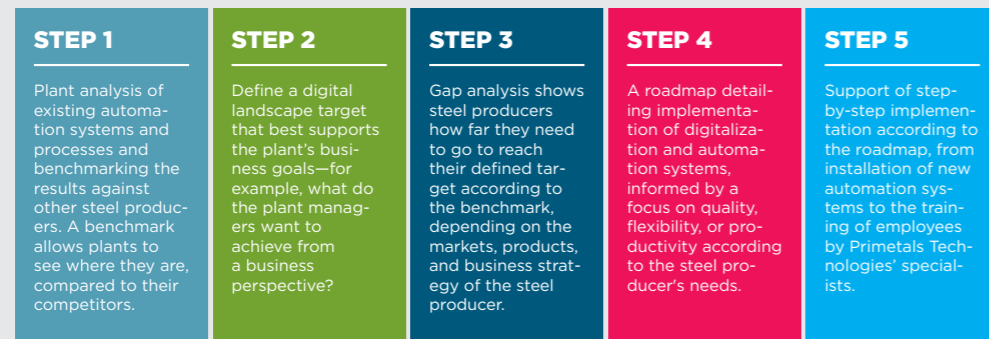
There are countless predictive analytics tools on the market, available off-the-shelf from giants such as SAP and IBM, that can help companies identify trends and make predictions about future events using data mining, statistical algorithms, predictive modeling, and machine learning. The current data is overlaid with the patterns revealed by the historical data to predict what might happen next. The ability to accurately forecast future business outcomes such as product demand, resource requirements, or financial performance can hand a company a significant competitive edge.

#### FROM INSIGHTS TO ACTIONS

Yet, the steel industry is unique because there is no one-size-fits-all solution for moving plant operations comprehensively into the digital realm. So what is it that makes the steel industry so different? Contrary to commercially-oriented optimization processes in the B2C sector, where the data is highly accurate and there is a wealth of data sets with a small number »

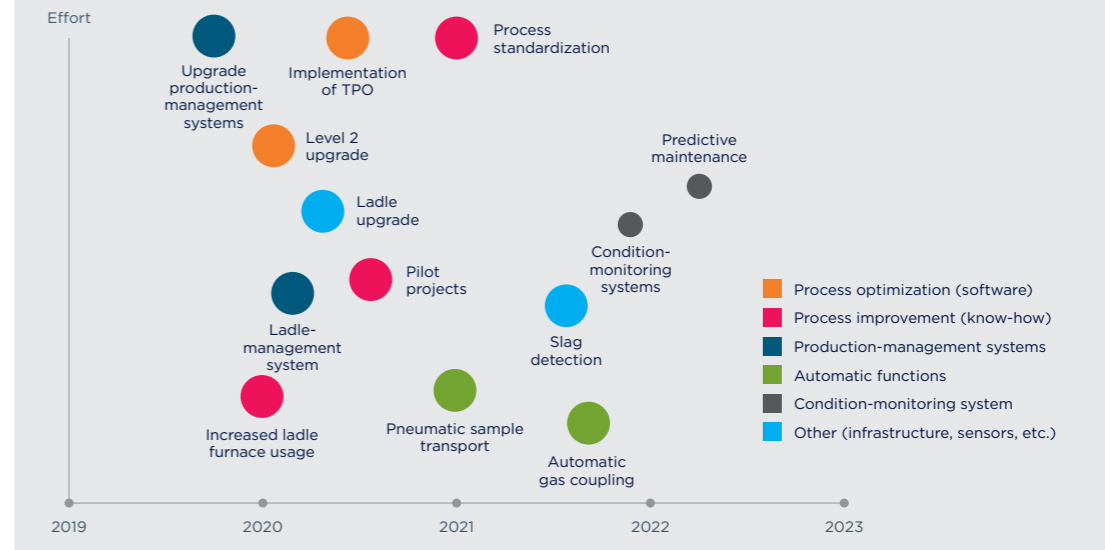
### 5-STEP APPROACH TO INDUSTRY 4.0

By formulating a 5-step approach, at the center of which is a study designed to assess how far a producer has already implemented Industry 4.0 standards, Primetals Technologies works closely with steel producers to establish tailor-made digital transformation strategies. The study looks at the automation systems currently implemented at the plant and the strategic business targets—and it details the best approach for achieving those targets.



**FIG. 2:** The 5-step approach of Primetals Technologies assesses the current automation landscape of a steel producer to provide tailor-made solutions.

### SAMPLE ROADMAP: GENERAL MELTSHOP



**FIG. 3:** This graphic shows the roadmap for a South American steel producer and defines effort required for each step (y-axis) over time (x-axis), and the size of the bubbles represents the business impact.

of data points, the number of data sets in steel production is lower. Still, each data set has a large number of data points. Thus, the number of data errors is also higher.

Compared with the use of predictive analysis in B2C, where tangible benefits include being able to identify new business opportunities, gain insights into competitors, reduce costs, and optimize products and performance, the significant advantage of leveraging raw historical data in steel production comes from turning the data into actionable information.

#### DIGITAL OPTIMIZATION

Digitalization solutions, such as those developed by Primetals Technologies, can analyze the data, determine patterns, and provide insights, as you would expect. But effective digitalization means automating the provision of actionable information and the generation of insights and taking the recommended action automatically, which results in a closed-loop scenario. Importantly, there is another prerequisite for a closed-loop implementation to work: the data required to derive the appropriate actions must be available. Here, plant automation is the solid foundation that can, on the one hand, provide this data and, on the other, execute the resulting actions.

Primetals Technologies' Through-Process Optimization (TPO) collects high-resolution data related to the process chain and to product quality, so that information about each coil, slab, billet, or bloom is available at every single stage of production.

As a result, TPO helps realize two crucial aspects of process and product optimization. For example, suppose a product shows deviations from the targeted quality parameters. In that case, TPO will indicate what measures need to be taken at subsequent processing steps to compensate for these deviations and still achieve the desired quality. Second, TPO can use the data it collects to optimize the production process for various targets such as costs, process stability, reduced need for alloying agents, and more.

#### FLEXIBILITY, QUALITY, PRODUCTIVITY

Expert systems, which Primetals Technologies has developed for several types of aggregates, are a good starting point for digitalization systems. They encompass a predefined knowledge base continuously being added to and enhanced. To illustrate the resulting benefit, imagine a plant's best operator. Now, imagine one who is not only thoroughly skilled based on experience but also never stops learning, never leaves the plant, and never resigns.

There is a broad range of options in terms of how digitalization in a plant can facilitate improvements. In the areas of quality, digitalization ensures all products are within the predefined range of quality parameters. In productivity, digitalization can increase output and reduce costs, and in regards to flexibility, digitalization can adapt to new products or different raw-material mixes. How digitalization fits into steel production depends on each steel plant's automation landscape and the business strategy defined by the producer. Digitalization is an ongoing process, and each steel producer can define their digitalization strategy and implementation roadmap.

#### PROVEN SOLUTIONS

Several insightful Industry 4.0 studies of all shapes and sizes have already been carried out with customers worldwide. For example, in one comparatively small study for a European steel producer interested in installing a Production-Management System (PMS), Primetals Technologies identified a shortfall in the existing automation system. Primetals Technologies discovered the plant's production units could not provide the data required for the PMS. Instead, the operator would have entered the data manually, which implies a high risk of error. Primetals Technologies recommended improvements to the existing automation

landscape so that the required data could be fed into the PMS. As a consequence, the production orders from the PMS could now be executed—all in a fully automated closed-loop scenario.

On a larger scale, another study for a South American steel producer with two different production facilities—one mini-mill and one integrated steel plant—with different automation landscapes led to an implementation roadmap and a cost-and-impact analysis. Now, several modifications and upgrade packages are being installed as part of an ongoing project: from dedicated sensor systems for certain plant sections to a full-fledged PMS.

Digitalization in the steel industry requires a unique approach and the development of bespoke automation solutions, such as those being pioneered by Primetals Technologies, where industry-specific expertise is combined with predictive analytics and automation competence to equip steel plants with the tools they need to implement their digitalization strategies and roadmaps to sustainable success. ●

**Kurt Herzog**, Head of Industry 4.0, Electrics & Automation, Primetals Technologies Austria

## MSR Uygulamasının Büyük Kesitli Çelik Blumların İç Yapısı Üzerine Etkisi

Effect of MSR (Mechanical Soft Reduction) on The Internal Structure of the Large-Section Steel Blooms at Asil Çelik

Emre BARUTCU<sup>1,2</sup>, İbrahim ACAR<sup>1</sup>, Gursel HIZIR<sup>1</sup>, Arcan F. DERICIOGLU<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, <sup>3</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

Application of mechanical soft reduction to improve internal product quality was introduced to reduce central porosity and segregation by applying static reduction to compensate the liquid core shrinkage and thus avoiding solute-enriched inter-dendritic fluid to reach the center of the strand. Mechanical soft reduction (MSR) consists of the application of a small controlled reduction to the strand in the zone where the liquid core at the final stage of solidification closes up. The deformation by MSR must be sufficient to counteract porosity and segregation, while at the same time not produce cracks in the bloom. MSR has applied to achieve best internal quality for large-sections (Ø 310, 406, 500, and 600 mm) different steel grades in Asil Çelik since the Big Bloom Caster Machine was commissioned at the last quarter of the 2015. In this paper, the theory of the MSR and results of industrial practices for different steel grades carried out in Asil Çelik have been described.

### Özet

MSR uygulaması; ürünün iç kalitesini iyileştirmek amacıyla, merkezdeki porozite ve segregasyon kusurlarının minimize edilmesi için kullanılmaktadır. Bu uygulamada amaç, katılaşma esnasında sıvı çekirdekteki çekintiyi kompanse etmek için mekanik ezme uygulayarak, çözün elementlerce zenginleşmiş dendritler arası sıvının çeliğin merkezine ulaşmasını önlemektedir. MSR, katılaşmanın sonunda sıvı çekirdeğin kapandığı bölgede, sürekli dökümde üretilen yola kontrollü bir ezme uygulanmasını içerir. MSR uygulamasıyla blumlara yapılan mekanik deformasyon, porozite ve segregasyonu önlemek için yeterli olurken, aynı zamanda blumda çatlaklara sebebiyet vermemelidir. MSR uygulaması, 2015 yılının son çeyreğinde Asil Çelik'te devreye alınan Büyük Blum Döküm Makinası ile birlikte, farklı çelik kaliteleri için büyük kesitli blumlarda (Ø 310, 406, 500 ve 600 mm) en iyi iç kaliteyi elde etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, MSR teorisi ve Asil Çelik'te gerçekleştirilen farklı çelik kaliteleri için endüstriyel uygulamaların sonuçları aktarılmaktadır.

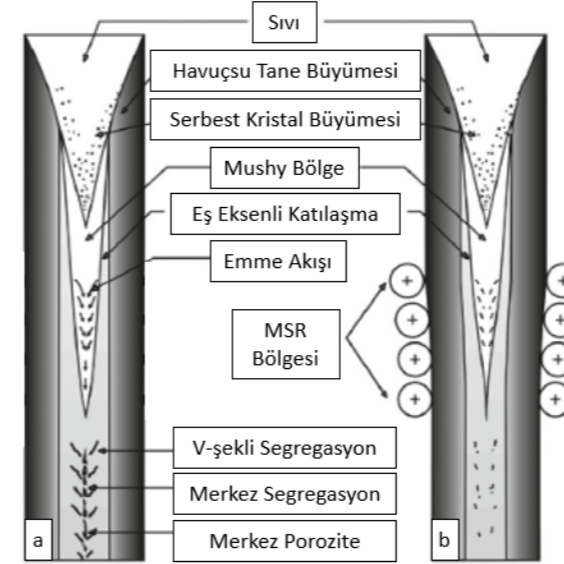
### 1. Giriş

Sürekli döküm (SD) yöntemi ile çelik üretimi; yüksek üretkenlik/verim, düşük enerji tüketimi, düşük maliyet, yüksek kaliteli çelik üretimi ve ingot döküme kıyasla düşük çevre kirliliği özellikleri ile birçok çelik üreticisi tarafından benimsenen bir üretim yöntemidir. Büyük kesitli yarı mamul çelik üretiminde en sık kullanılan yöntemler, ingot ve sürekli döküm prosesleridir. Sürekli döküm ile birlikte üretilen farklı çelik kaliteleri aşağıdaki gibidir:

- Karbon çelikleri,
- Yapı çelikleri,
- Isıl işlemlenmiş çelikler,
- Mikro alaşımlı çelikler,
- Sementasyon çelikleri,
- Borlu çelikler,
- Otomat çelikler,
- Rulman çelikleri,
- Sıcak-soğuk iş takım çelikleri,
- Yay çelikleri ve
- Paslanmaz çelikler.

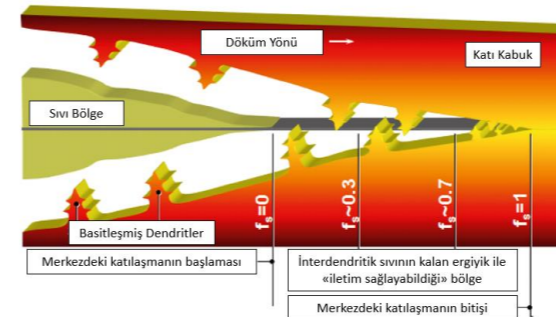
Mamul kesiti büyük olan malzemeler için genellikle izlenen yol, ingot döküm ile çelik üretimi sonrasında sıcak haddeleme prosesidir. İngot dökümün sürekli döküme kıyasla tercih edilmesindeki en önemli etken, haddeleme işlemi sonrasında daha az iç hataya sahip (porozite, merkez çatlağı ve segregasyon) malzeme üretilmesine olanak yaratmasıdır. Ancak, sürekli döküm ile üretilen özel çelik kalitelerinin iç yapısındaki iyileştirme çalışmaları yıllardır devam etmektedir. Özellikle sürekli dökümlerde MSR uygulamasının araştırılması ve uygulanması ile birlikte, merkez porozite, çatlak ve segregasyon gibi katılaşma kusurlarının minimize edilmesine olanak sağlanmıştır. Uygun MSR uygulamaları ile birlikte, çok düşük veya sıfır porozite ve merkez çatlağı değerlerine ulaşmak mümkün kılınmıştır. MSR uygulaması, kalıp ve yol karıştırıcı mekanizmaları ile birlikte, karbon ve alaşım segregasyonu konusunda da pozitif etki sağlayabilmektedir. Sürekli dökümde yaşanan gelişmeler ışığında, optimum parametreler ile birlikte; daha homojen, yönlendirilmiş

katılaşmaya sahip, yüksek iç yapı kalitesi ile iyi yüzey kalitesine sahip blum, kütük ve slab şeklinde çelik üretimi sağlanabilmektedir. MSR uygulamasının temel prensibi, Şekil 1'de gösterildiği gibi katılaşmanın son aşaması sırasında meydana gelen hacimsel çekintiyi dengeleyerek makro-segregasyon oluşumunu sindirmek ve geri kalan eriyiğin akışının önüne geçmektir [1].



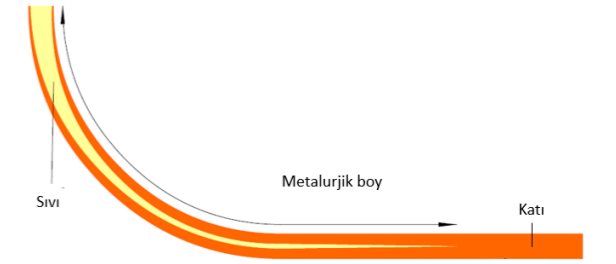
Şekil 1. MSR prosesinin, blumdaki katılaşma üzerine etkisi: (a) MSR'siz ve (b) MSR'lı blumlarda katılaşma sırasında iç yapı değişimi [2].

Döküm koşulları, MSR bölgesinden (yumuşak indirgeme/ezme) geçerken kısmen katılaşmış yolun merkezindeki katı fraksiyon ( $f_s$ ) Şekil 2'de görüldüğü gibi 0.3 ile 1 arasında olacak şekilde ayarlandığı takdirde, homojenlik artışı ve iç çatlak riskinin azalmasına ilişkin optimum sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 2'de hedeflenen yumuşak indirgeme bölgesi gösterilmektedir [1].



Şekil 2. Amaçlanan yumuşak indirgeme (MSR) bölgesinin çizimi [2].

MSR uygulamasında kuvvetlerin tayini, çelik kalitesine ve kesitine bağlı olarak; döküm hızı, ikincil soğutma şiddeti ve çeliğin tandiştteki döküm sıcaklığı ile belirlenebilmektedir. Değerlerin döküm sırasında stabilizasyonu, MSR uygulamasının da olumlu etki yaratmasına direkt olarak etki etmektedir. Döküm hızı ve ikincil soğutma şiddetinin seçimi, döküm sırasında birçok farklı parametreye doğrudan etki etmekte olup kaliteli döküm elde etmenin anahtarı olarak görülmektedir. Metalurjik boy; bu seçimden direkt etkilenen bir parametre olup, blumun tamamen katılaşacağı bölgeden kalıba olan uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Metalurjik boyun sürekli döküm prosesi üzerinde şematik gösterimi Şekil 3'teki gibidir [3].

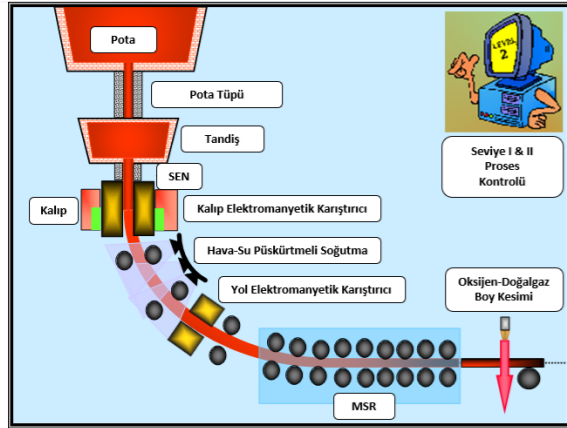


Şekil 3. Metalurjik uzunluğu gösteren şematik çizim [3].

Merkezdeki porozite, özellikle katılaşmanın son aşamasında, peltemsi (mushy) bölge uzun olduğunda meydana gelmektedir. Daha sonra geriye kalan sıvı faz, dendritin köprülenen kol aralığından beslenemeyecektir. MSR, merkezdeki poroziteyi azaltmak ve merkezdeki sağlamlığı (soundness) arttırmak için son sıvı bölgeyi sıkılaştırmaktadır. Ayrıca, MSR teknolojisi merkezdeki segregasyonu çok etkili bir şekilde azalttığı için sürekli dökümde pozitif etki yaratmaktadır. MSR, sıvı havuzun son bölgesinde oluşan dendritik köprüleri kırmada etkilidir. Bu kırık dendritler, peltemsi bölgede yüzerek nihai katılaşma için çekirdeklenme yeri olarak davranmakta ve yolun merkez hattında makro-segregasyona neden olan "mini-ingotların" oluşumu önlenmiş olmaktadır.

Asil Çelik'te 2015 yılının son çeyreğinde devreye alınan Büyük Blum Döküm Makinasında (Şekil 4'de şematize edilmiş olan); 310, 406, 500 ve 600 mm yuvarlak kesitlerinde çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Makina, 14 metre radyusa sahip olup üretim 3 yoldan sağlanmaktadır. 4 adet çekme, 9 adet statik MSR (mekanik yumuşak ezme) ünitesi ve elektromanyetik kalıp-yol karıştırıcıları ile birlikte minimum porozite, merkez çatlağı ve segregasyona sahip çelik blum üretimine olanak sağlamaktadır.





Şekil 4. Büyük Blum Döküm Makinasının şematik gösterimi.

## 2. Deneysel Çalışmalar

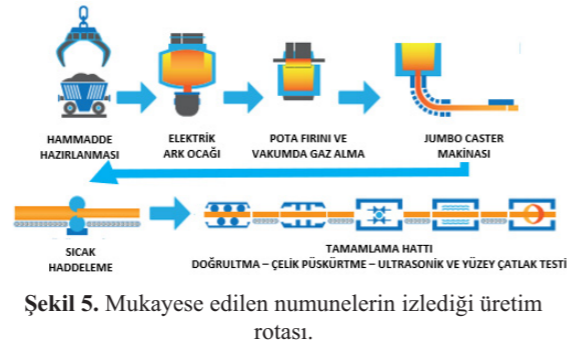
Asil Çelik'te MSR uygulamasız (MSR'sız) ve MSR uygulamalı (MSR'lı) üretimi gerçekleştirilen büyük kesitli blumlardan hadde öncesi alınan numunelerde merkezdeki porozite değişimi incelenmiştir. Ayrıca, orta karbonlu ıslah çeliğinden üretilen blumların sıcak haddelenmesi sonrasında alınan numunelerde merkezdeki bantlaşma oluşumlarındaki değişimler analiz edilmiştir.

### 2.1. MSR uygulamasının merkezdeki poroziteye etkisi

Sürekli dökümde 310, 406 ve 600 mm yuvarlak olarak üretilen farklı çelik kalitelerinin, hadde öncesinde; MSR uygulaması olan ve olmayan numuneleri, laboratuvarda dağlanarak merkezdeki porozite hatasının değişimi analiz edilmiştir. MSR'sız ve MSR'lı olarak birbiriyle mukayese edilen bütün numuneler, aynı dökümde farklı yollardan yapılan üretim sonrasında alınmıştır.

### 2.2. MSR uygulamasının haddelenme sonrasında merkezdeki bantlaşmaya etkisi

Sürekli dökümde 600 mm yuvarlak olarak üretilen ve sıcak haddelenme ile 220 mm yuvarlağa haddelenen orta karbonlu ıslah çeliğinin merkezdeki bantlaşma oluşumu, hadde işlemi sonrasında MSR uygulaması olan ve olmayan numunelerde yapılan mikroskobik inceleme (Taramalı Elektron Mikroskobu ve Optik Mikroskop) ve sertlik testi (Vickers Sertlik Yöntemleri) ile analiz edilmiştir. Sürekli dökümden sıcak haddelenme prosesine kadar numunelerin izlediği üretim rotası Şekil 5'te gösterilmiştir.

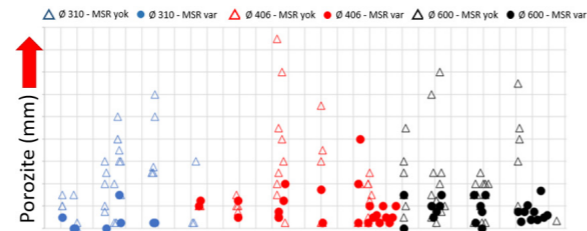


## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. MSR uygulamasının merkezdeki poroziteye etkisi

MSR uygulaması; 310, 406 ve 600 mm yuvarlak kesitlerinden üretilen çelik kalitelerinin birçoğunda kullanılmaktadır. MSR'ın blumdaki iç yapıya katkısını analiz etmek için, üretilen dökümlerin bir yolunda MSR uygulaması yapılırken, üretim yapılan diğer yolda MSR uygulanmamıştır. Üretilen blumlar soğuduktan sonra; numuneler, şerit testere makinasında 15 mm'lik parçalar halinde enine kesitte hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler öncelikle taşlama işlemine tabi tutulmuş, ardından metalografi laboratuvarında %3 nital içeren solüsyonun içinde bekletilerek dağlanmıştır.

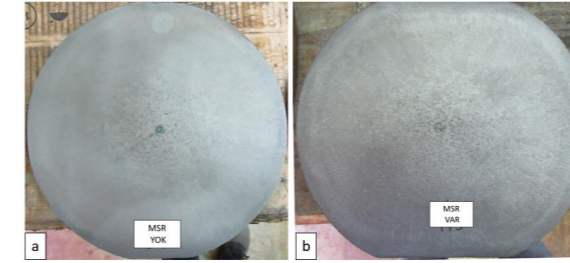
Şekil 6'da farklı kesitlerde üretilen blumların, hadde öncesinden alınan numunelere yapılan makro-dağlama testi ile belirlenen merkez porozite hata değerleri sunulmaktadır. MSR uygulaması olan numunelerdeki porozite değerleri analiz edildiğinde, MSR uygulaması olmayan numunelerdeki porozite değerlerine göre %65'lik bir iyileşme gözükmektedir. MSR uygulanan ve MSR uygulanmayan blumların porozite değerleri mukayese edildiğinde; MSR uygulanan numunelerin düşük porozite değerleri ve sonuçlardaki süreklilik hali, olumlu olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 6. 310, 406 ve 600 mm yuvarlak SD üretilmiş hadde öncesi numunelerde MSR'sız ve MSR'lı porozite değerleri.

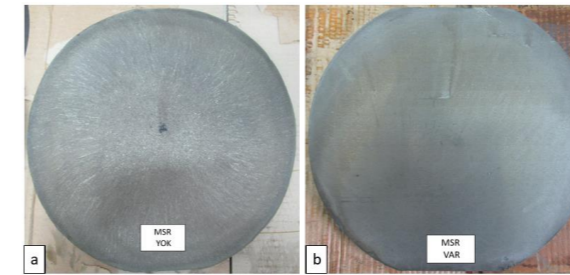
Şekil 7'de, düşük karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan Ø 310 mm blumlardan alınan numunelerin fotoğrafları görülmektedir. Bluma MSR ile birlikte %7-13 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR

olmayan numuneye göre porozite değerinde %100'lük bir iyileşme gerçekleşmiştir.



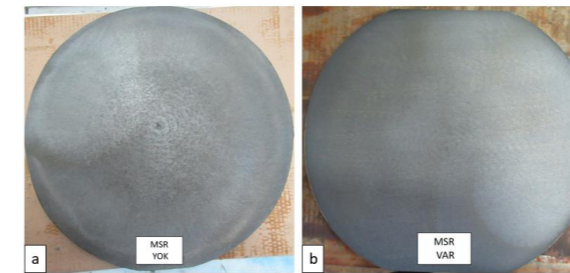
Şekil 7. Ø 310 mm düşük karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

Şekil 8'de ise Ø 310 mm orta karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan blumlardan alınan numunelerin fotoğrafları gösterilmektedir. Bluma MSR ile birlikte %4-10 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR olmayan numuneye göre porozite değerinde %93,75'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir.



Şekil 8. Ø 310 mm orta karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

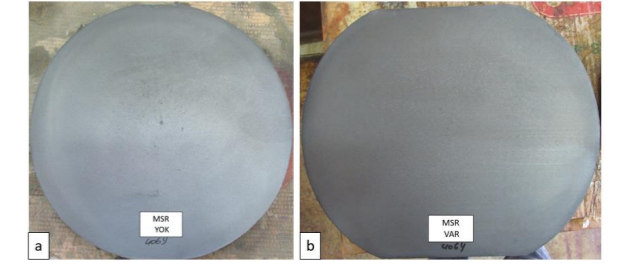
Şekil 9'da Ø 406 mm düşük karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan blumlardan alınan numunelerin fotoğrafları sunulmaktadır. Bluma MSR ile birlikte %6-12 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR olmayan numuneye göre porozite değerinde %89,52'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Ø 406 mm düşük karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

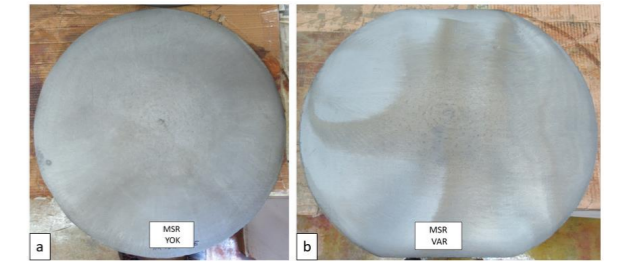
Şekil 10'da Ø 406 mm orta karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan blumlardan alınan numunelerin

fotoğrafları gösterilmektedir. Bluma MSR ile birlikte %6-12 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR olmayan numuneye göre porozite değerinde %70,37'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir.



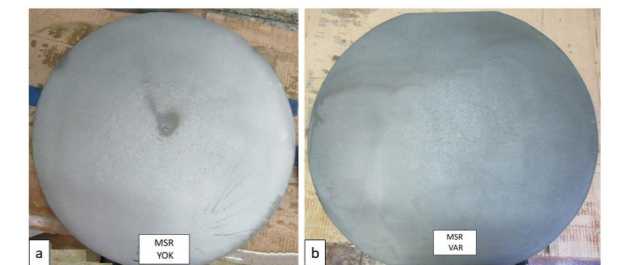
Şekil 10. Ø 406 mm orta karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

Şekil 11'de Ø 600 mm düşük karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan blumlardan alınan numunelerin fotoğrafları gösterilmektedir. Bluma MSR ile birlikte %7-13 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR olmayan numuneye göre porozite değerinde %60'lık bir iyileşme gerçekleşmiştir.



Şekil 11. Ø 600 mm düşük karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

Şekil 12'de Ø 600 mm orta karbonlu aynı dökümde MSR uygulanan ve uygulanmayan blumlardan alınan numunelerin fotoğrafları gösterilmektedir. Bluma MSR ile birlikte %3-9 arasında ezme uygulanmış olup bunun nihayetinde MSR olmayan numuneye göre porozite değerinde %88,75'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir.



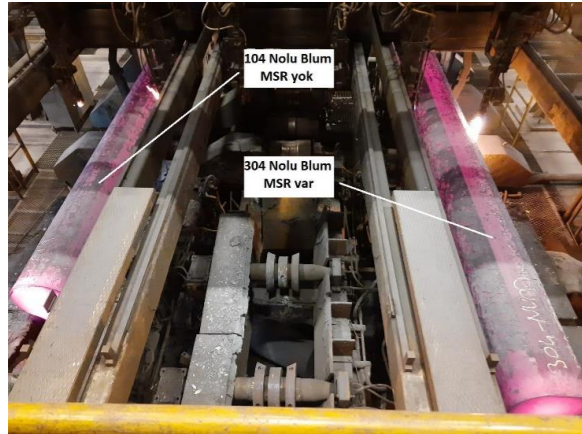
Şekil 12. Ø 600 mm orta karbonlu dökümden alınan makro-dağlama numuneleri: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı.

### 3.2. MSR uygulamasının haddeme sonrasında merkezde oluşan bantlaşmaya etkisi

Ø 600 mm kesitte üretilen orta karbonlu ıslah çeliğinin dökümünde MSR parametreleri belirlenmeden önce "Chill Katılaşma" programında; dökümün hızı, birincil-ikincil soğutma değerleri, döküm sıcaklığı, kalitenin kimyasal kompozisyonu ve kalıp tozu sabiti girilerek metalurjik boy ve katı fraksiyon ( $f_s$ ) tayin edilmiştir. Katılaşmanın başladığı ve bittiği bölgelerin analiz edilmesi sonrasında MSR kuvvetlerinin hangi ünitelerde olacağı belirlenmiştir. Sürekli döküm parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Şekil 13'de ise sürekli dökümde yapılan denemenin fotoğrafı görülmektedir.

**Tablo 1.** Dökümde uygulanan sürekli döküm parametreleri.

Hız	Super Heat	Kalıp EMS	Yol EMS	Spesifik Soğutma Hacmi	MSR Aktif Ünite	MSR Toplam Ezme
0.20	30	0-1 Hz	0-1 Hz	0.15	No.6	40
-	-	-	-	-	No.7	-
0.30 m/dk	40 °C	200-300 A	50-150 A	0.30 l/kg	No.8 No.9	60 mm



**Şekil 13.** MSR'sız ve MSR'lı blumların sürekli dökümle üretimi esnasındaki fotoğrafı.

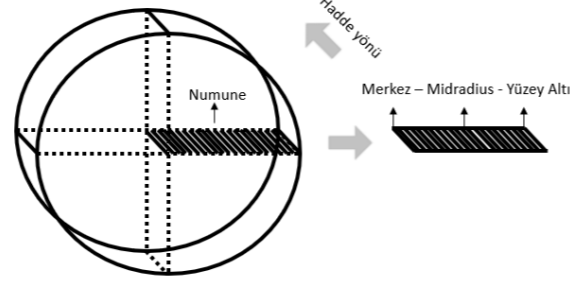
Ø 220 mm kesitte haddelenen 104 (MSR'sız) ve 304 (MSR'lı) Nolu blumların kimyasal analiz sonucu Tablo 2'de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Numunelerin kimyasal analizi.

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,34	0,24	0,80	1,10	0,20

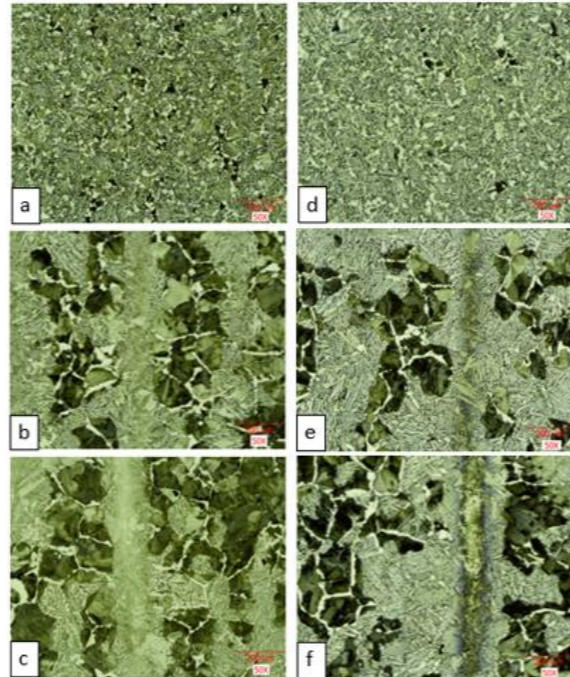
Sıcak hadde sonrasında tamamlama hatlarından geçen malzemelerden, testere ile enine numuneler kesilmiştir. 104 ve 304 Nolu blumlardan alınan enine (hadde yönüne dik) numuneler ile merkezdeki bantlaşma etkisini analiz edebilmek için incelemeler yapılmıştır. Şekil 14'de ise mikroskobik gözlem ve sertlik testleri yapmak için alınan

numunelerin örneklendirilmesi ve numune bölgelerinin tanımı gösterilmektedir.



**Şekil 14.** Haddelenen blumlardan alınan numunenin şematik gösterimi ve incelenen bölgelerin tanımları.

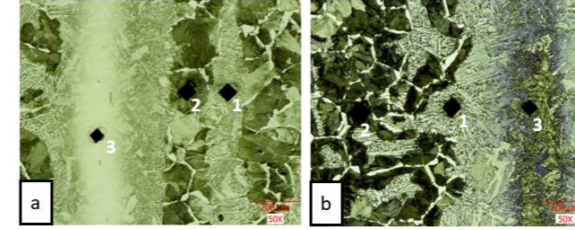
MSR'sız ve MSR'lı numunelerin optik mikroskopta 50X büyütmedeki görüntüleri Şekil 15'de verilmiştir. Numuneler incelendiğinde, iki numunede de mid-radius bölgesinde başlayan ve merkeze doğru ilerleyen bantlaşma gözükmektedir.



**Şekil 15.** MSR'sız numunenin optik mikroskopta 50X büyütmedeki görüntüleri: (a) Yüzey altı, (b) Mid-radius, (c) Merkez; MSR'lı numunenin optik mikroskopta 50X büyütmedeki görüntüleri: (d) Yüzey altı, (e) Mid-radius ve (f) Merkez.

İki numunede de mid-radius bölgesinden başlayıp merkeze doğru yer yer devam eden bantlaşma sonucunda sertlik ölçümü gerekliliği doğmuştur. MSR'sız ve MSR'lı numunelerin merkez bölgelerinde gözlenen farklı fazlara ya

da yapılar 1 kN (HV 1) yük ile Vickers Mikrosertlik testi uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Mikrosertlik ölçümlerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 16'da gösterilirken, değerler ise Tablo 3'de verilmiştir.



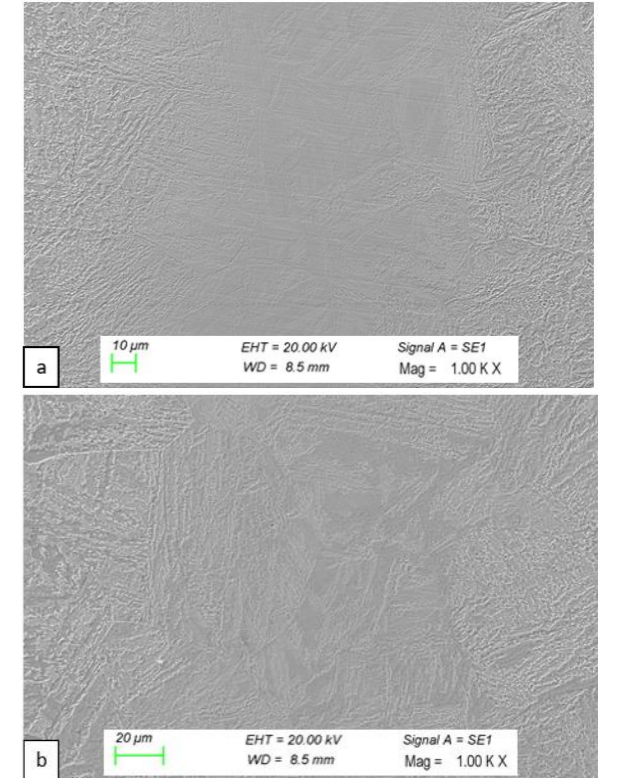
**Şekil 16.** Vickers sertlik ölçüm izlerinin optik mikroskopta ve 50X büyütmede görünümü: (a) MSR'sız merkez bölge ve (b) MSR'lı merkez bölgesi.

**Tablo 3.** MSR'sız ve MSR'lı numuneler için Vickers Mikrosertlik yöntemiyle belirlenen farklı fazlar ile yapıların sertlik dağılımı.

Bölge	MSR	Fazlardaki Sertlik Değeri (HRC)		
		Beynit (1)	Perlit (2)	Martenzit (3)
Merkez	Yok	31.1	29.9	48.1
	Var	26.5	21.1	39.8

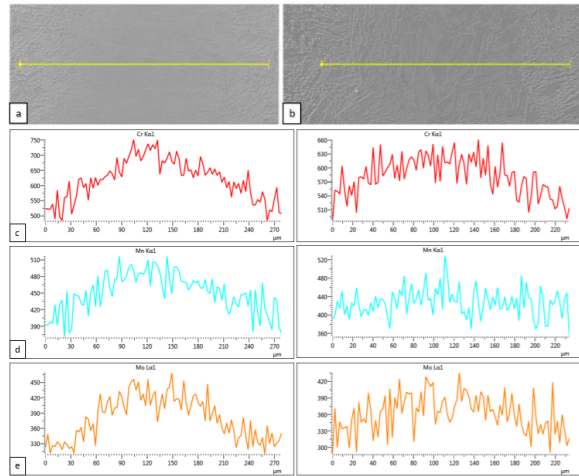
Değerler analiz edildiğinde, öngörüldüğü üzere, bantlaşma görülen merkezdeki en yoğun bölgede yüksek sertlikler dikkat çekmektedir. MSR uygulaması olan ve olmayan numunelerin sertlik sonuçları analiz edildiğinde; MSR uygulamasının bant kalınlığını düşürdüğü, buna bağlı olarak bantın içindeki martenzit fazının sertliğini de olumlu anlamda azalttığı gözükmektedir. Bantlaşma probleminin mekanik özelliklerdeki anizotropik etkisi değerlendirildiğinde, MSR uygulamasının anizotropik etkiye azaltman yönünde olumlu etki yarattığı görülmektedir.

Bantlaşma probleminin oluşumunu daha iyi anlayabilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Şekil 17'de Taramalı elektron mikroskobunda yüksek büyütmeyle çıkararak martenzit bantının yapısı incelenmiştir.



**Şekil 17.** SEM'de 1.000X büyütmede merkezdeki bant yapılarının fotoğrafları: (a) MSR'sız ve (b) MSR'lı numune.

Şekil 18'de ise bant halindeki martenzit fazı ile birlikte çevredeki beynit fazını kapsayan "hat boyunca" yapılan çizgisel kimyasal analiz (EDS) taramasının sonuçları sunulmaktadır. Bunun sonucunda ise, numunelerdeki martenzit bantının içinde; başta Cr olmak üzere, Mo ve Mn alaşım elementlerinin segregasyonu tespit edilmiştir. Şekil 18'de gösterildiği üzere, hat boyunca yapılan analiz sonucunda; MSR uygulanmayan numunedeki bantın orta bölgesinde alaşım elementlerinin bulunma yoğunluğunun, MSR uygulanan numunedeki bantta bulunan alaşım elementlerinin yoğunluğuna kıyasla daha fazla olduğu gözükmektedir.



**Şekil 18.** SEM'de hat analiz yöntemi ile yapılan elementel tarama: (a) MSR'sız numune, (b) MSR'lı numune ve (c), (d) ve (e) MSR'sız ve MSR'lı numunelerdeki sırasıyla Cr, Mo ve Mn alaşım elementlerinin içerik mukayesesi.

#### 4. Sonuç

MSR uygulamasının sıcak hadde prosesi öncesinde, merkezdeki porozitenin minimize edilmesinde direkt katkısı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırma neticesinde; MSR uygulaması yapılan blumların porozite değerleri, MSR uygulaması yapılmayan blumların porozite değerlerine göre daha iyi sonuçlar göstermiştir. Bunun yanı sıra MSR uygulamasıyla porozite değerleri blum boyunca daha stabil kalmış olup, değerlerin değişimi konusunda ise %70'e kadar iyileşme sağlanmıştır.

- Ø 310, 406 ve 600 mm kesitlerinde üretilen, düşük ve orta karbonlu çeliklerin makro-dağlama numuneleri analiz edildiğinde, MSR uygulaması ile birlikte porozite değerlerinde:
  - ❖ Ø 310 mm kesitinde üretilen düşük ve orta karbonlu çeliklerde %52 iyileşme sağlanmıştır.
  - ❖ Ø 406 mm kesitinde üretilen düşük ve orta karbonlu çeliklerde %60 iyileşme sağlanmıştır.
  - ❖ Ø 600 mm kesitinde üretilen düşük ve orta karbonlu çeliklerde %68 iyileşme sağlanmıştır.

Ø 600 mm'den Ø 220 mm'ye haddelenen orta karbonlu ıslah çeliği kalitesindeki blumlardan numune alınarak, MSR uygulamasının merkezdeki bantlaşma üzerine etkisi incelenmiştir. Optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve Vickers Mikrosertlik cihazıyla yapılan incelemeler neticesinde MSR uygulamasının; maksimum bant kalınlığını %15 azalttığı, Cr-Mo-Mn alaşım elementlerinin merkezdeki bant içerisinde şiddetini azalttığı ve merkezdeki bant yapısının sertliğini %20 düşürdüğü tespit edilmiştir.

- Bu veriler doğrultusunda; MSR uygulamasının, mekanik özellikleri anizotropik olarak olumsuz etkileyen bantlaşma etkisini belli oranda elimine ettiği tespit edilmiştir.

#### Referanslar

- [1] B.G. Thomas, ISIJ Int., 36 (1996) 284-289
- [2] M. Suzuki, K. Kimura ve A. Kawami, Metall. Res. Technol., 89 (1992) 83-92.
- [3] K. Liu, C. Wang, G. Liu, N. Ding, Q. Sun ve Z. Tian, High Temp. Mater. Proc., (2017) 359-372

## Optimization of Calcium Treatment in Secondary Metallurgical Operations

### İkincil Metalurjide Kalsiyum İşleminin Optimizasyonu



**Mustafa SAĞLAM, M. Kağan KELER, Kübra AKGÜN, Eyüp Veysel ÖZDEMİR, Abdurrahman Mesud ÇAKIR, Betül ÇELİK**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

In secondary metallurgy, Ca treatment is used for eliminating detrimental inclusions in liquid steel. Ca is one the major element for some steel grades; hence it was aimed to investigate the effect of steel cleanliness, process parameters and the applied Ca treatment by using castability in continuous casting machine. In the studies, the relationship between chemical composition, calcium wire amount and steel cleanliness was determined. It was aimed to develop products with better steel cleanliness in the final product of the process [1].

It has been determined by thermodynamic studies that the Ca treatment, which is generally applied in secondary metallurgy operations, causes the CaS composition in steel. Since the melting temperature of the CaS composition is 2.525 °C, it has been analyzed that it is in solid form in the liquid steel. In addition, it has been detected that the CaS phase captures calcium-aluminate type inclusions and spinels due to high surface energy and increases the size of this type of inclusions. In recent research, the amount of Ca wire usage was examined with the steel cleanliness and castability, and the utilization was optimized with some statistical tools.

#### 1. Introduction

Inclusions are the field of ferrous metallurgy which is based on the amount, size, distribution in steel matrix and composition. Non-metallic inclusions covers sulfides, oxides, nitrides, carbides, oxy-sulfides and carbonitrides [2]. Steel producers always control the metallurgical phenomenon to obtain desired amount and properties of inclusions. The main resource of non-metallic inclusions are alloying elements, slag modifiers-additives and refractory linings [3].

In liquid steel production processes, Ca is the crucial element to adjust the steel cleanliness at the desired

level. Different Ca wire types have been applied during ladle furnace process. The aim of Ca wire usage is to modificate  $Al_2O_3$  type inclusions. In industrial tests, the ladle furnace process parameters were optimized for the ideal calcium treatment. There was a remarkable improvement in steel cleanliness in the heats where calcium treatment was carried out in a targeted manner. For flat products, studies showed that some positive impacts gained for steel cleanliness and castability while arranging the wire usage at optimum scale.

#### 2. Materials and Methods

In plant studies, different ratios of Ca based wire additions were applied. The heat size of the trials were 200 tons per ladle. After completed the whole additions into ladle, Ca based wire have been implemented with constant speed from top of the ladle and different consuming rates. In Table 1 Ca base wire usage has been given.

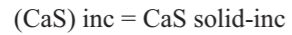
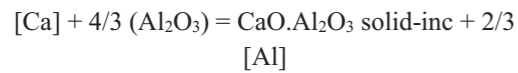
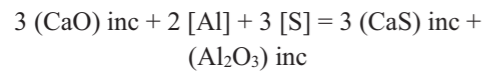
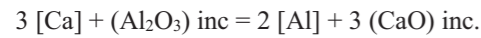
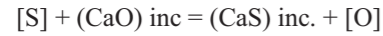
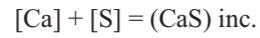
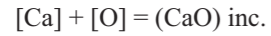
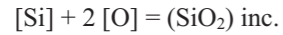
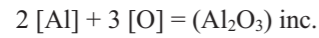
**Table 1.** Experimental Procedure

Number of Heats	CaFe Wire Consuming per heat
50	400 mt
40	350 mt
66	300 mt
50	250 mt
50	200 mt

Metallurgical simulation studies have been carried on FactSage 7.3 thermodynamical simulation tool. Hence, optimization studies progressed with Minitab 8.1 software. Steel cleanliness and ternary diagrams evaluated with Thermoscientific Explorer 4.0 equipment. Castability in CCM process has been observed in all industrial tests.

The effect of sulfur has been identified beside the mechanism between Ca and sulfur relation. Due to

eliminate detrimental effect of sulfur in this research, it has been limited with %0,01 sulfur levels in liquid steel. The mechanism of Al killed steel grades occurred with the reactions below.



Some of the inclusions formed after the Ca treatment applied in the ladle furnace are calcium-aluminate type inclusions. These inclusions are also expected to be generally in the form of C12A7. But in metallurgical aspect, detrimental inclusions can be occurred with different Ca amounts. Higher Ca amounts related with saturated solid  $3CaO.Al_2O_3$  inclusions. Hence, these inclusions have higher melting point and it is hard to eliminate in liquid metal bath. Additionally [S] content and total oxygen in steel have some limitation. Optimization studies finalized with chemical analyze of steel and Ca content.

### 3. Results

Studies showed that mechanism between Ca usage and steel cleanliness have strong correlation. The oxygen activity, liquid steel temperature, [S] in steel, slag composition and kinetic factors (stirring, wire feeding speed) play an active role in Ca treatment. The thermodynamic effect of Ca in steelmaking process has been given in Figure 1.

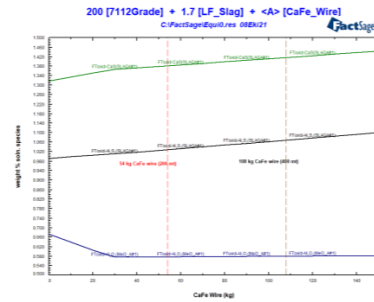


Figure 1. Thermodynamic Model of LF Process with the Effect of CaFe Wire

All heats are investigated within the scope of steel cleanliness. Before and after results for Ca treatment in LF process inspected in Figure 2. It is showed that 200 mt CaFe wire usage affected steel cleanliness positively and most  $Al_2O_3$  type inclusions transformed into globular form in the process. Detrimental inclusions have been decreased with lower CaFe usage.

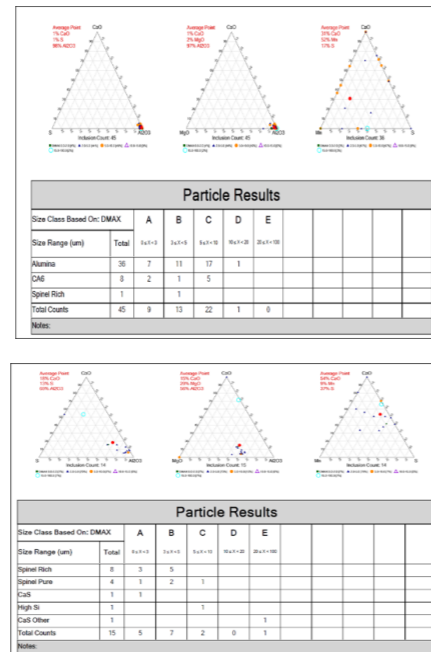


Figure 2. The Change of Steel Cleanliness Before and After Ca Treatment

Statistical change has been given in Figure 3. After research studies, average Ca based wire usage has been decreased from 0.7 kg per heat to 0.38 kg per heat. An ideal wire usage has been analyzed and optimized with both metallurgical and statistical studies.

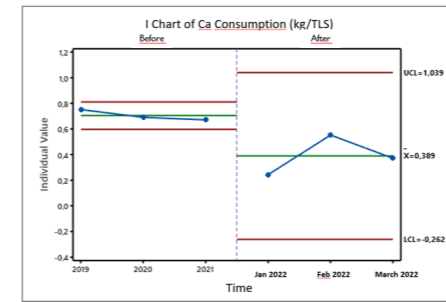


Figure 3. The Statistical Results of Alteritation In Ca Based Wire Consume

### References

- [1] Keskin, I., Keler, M. K., Cetin, Z., & Daldal Akin, S. (2019). Increasing Of Hot Metal Desulphurization Efficiency Via Secondary Steelmaking Slag Recycling". In EFRS Conference Publication.
- [2] Holappa, L., & Wijk, O. (2014). Inclusion engineering. Treatise on process metallurgy, 347-372.
- [3] Sağlam, M., & Keler, M. K. (2020). Calcined Magnesite Utilization for Secondary Metallurgy Operations via Metallurgical Aspect. JOURNAL OF MATERIALS AND ELECTRONIC DEVICES, 3(1), 35-37.

## Simülasyon Destekli İngot Kalıp Tasarımı:Pilot Ölçekten Endüstriyel Uygulamaya

Simulation Supported Ingot Mold Design: From Pilot Scale to Industrial Implementation



Gamze ATİK<sup>1</sup>, S. Berker IŞIK<sup>1</sup>, Ersel ÇELİK<sup>1</sup>, Koray ARABACI<sup>1</sup>, Arcan F. DERİCİOĞLU<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Asil Çelik, <sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

In the production of semi-finished steel, two different casting methods are being utilized following melting and metallurgical processes. These are continuous casting and ingot casting. During ingot casting, either as bottom filling or top filling, variables such as the initial temperature of the liquid steel, the shape of the mold, the pouring rate into the mold and the pouring regime affect the formation of defects such as porosity and shrinkage that can be seen in the final product. Therefore, close control of all of these variables is necessary for successful production. In this study, the effect of ingot mold design on ingot solidification behavior was simulated using the finite element method and obtained results were compared with experimental casting results. The pouring and solidification behavior of the steel in molds with different cross-sections and taper angles were studied first on laboratory scale and achieved results were extended to industrial scale.

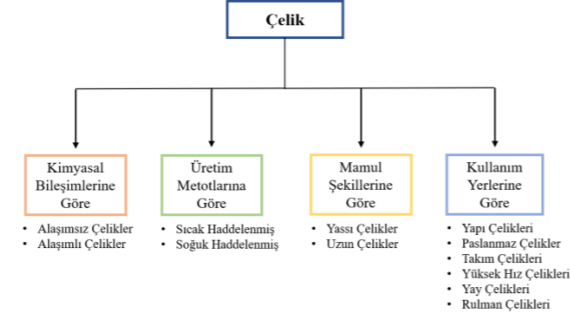
### Özet

Yarı mamül çelik üretiminde ergitme ve metalurjik proseslerin ardından iki farklı döküm yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar sürekli döküm ve ingot dökümdür. Alttan veya üstten olmak üzere 2 farklı dolmu yöntemiyle yapılabilen ingot dökümde, sıvı çeliğin başlangıç sıcaklığı, kalıbın şekli, kalıba dökülme hızı ve dökme rejimi gibi değişkenler, son üründe görülebilen porozite ve çekinti boşluğu gibi hataların oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, başarılı bir üretim için tüm bu değişkenlerin kontrolü gereklidir. Bu çalışmada, ingot kalıp tasarımının ingot katılaşma davranışı üzerindeki etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simüle edilmiş ve deneysel döküm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çeliğin farklı kesit ve koniklik açılara sahip kalıplardaki döküm ve katılaşma davranışı önce laboratuvar ölçeğinde çalışılmış, sonrasında elde edilen sonuçlar endüstriyel ölçeğe aktarılmıştır.

### 1. Giriş

Ana alaşım elementi olan karbonun yanında farklı alaşım elementleri içeren çok çeşitli çelik tipleri ya da kaliteleri

bulunmaktadır. Sonuç olarak çok geniş bir özellik spektrumuna sahip olan çeliklerin çeşitli yönlerden sınıflandırılması yapılabilmektedir. Çelikler için kısaca Şekil 1'de görüldüğü gibi kimyasal bileşime, üretim metotlarına, mamul şekillerine ve kullanım yerlerine göre genel bir sınıflandırma yapmak mümkündür [1].



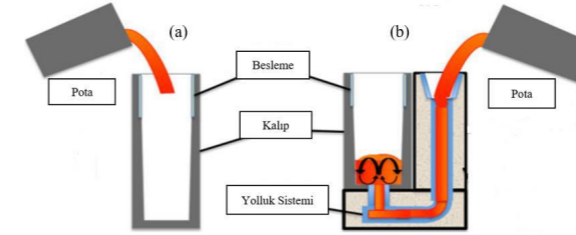
Şekil 1. Çeliklerin sınıflandırılması.

Ham çelik üretimi için dünyada yaygın olarak kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri Bazik Oksijen Fırınları (BOF) bir diğeri ise Elektrik Ark Ocaklarıdır (EAF). Yüksek fırında demire indirgenen demir cevheri BOF'da çeliğe dönüştürülür. EAF'da ise elektrik enerjisi ile oluşturulan ark yardımıyla hurda ergitilerek çeliğe dönüştürülür. Vasıflı çelik üretimi sürecinde ergitilen çelik hassas alaşımlama, sıcaklık kontrolü ve gaz giderme işlemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bundan dolayı pota ocaklarında ikincil metalürji işlemleri yapılmaktadır. Pota ocağında (LF) gerekli alaşımlandırma ve vakumla gaz giderme ocağında (VD) çözünmüş gazların uzaklaştırılması işlemleri tamamlandıktan sonra sıvı çeliğin döküm işlemi gerçekleştirilir. Çelik üretiminde genel olarak ingot döküm ve sürekli döküm olmak üzere iki tür döküm yöntemi kullanılmaktadır. Şekil 2'de kullanılan çelik döküm yöntemleri şematik olarak sunulmuştur. Sürekli Döküm (SD), ergitilmiş metalin kontrollü olarak katılaştırılarak yarı mamul haline getirilmesidir. İngot döküm ise alaşımlandırma işlemi yapılmış sıvı çeliğin kare, yuvarlak ya da poligon gibi çeşitli kalıplara alttan veya üstten dolumu ile gerçekleştirilen döküm tipidir. Şekil 3'te ingot döküm

sırasında alttan ve üstten dolumu şematik olarak gösteren görsel sunulmuştur [3,4].

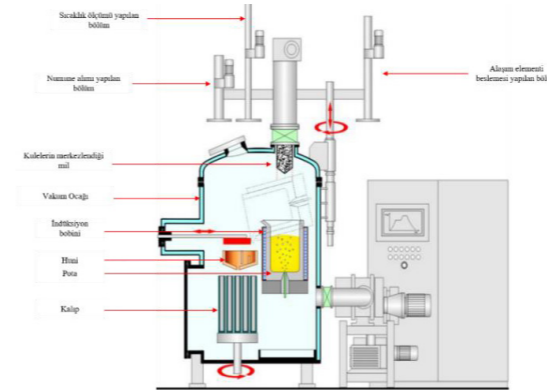


Şekil 2. Çelik döküm yöntemleri sınıflandırılması.



Şekil 3. İngot döküm çeşitleri: (a) üstten dolmu ve (b) alttan dolmu [4].

Daha karmaşık ve özel alaşımlar üretmek amacıyla teknolojiye ilerlemeler kaydedilmektedir. Bunlardan biri çeliklerin üretiminde Vakum İndüksiyon Ocaklarının (VIM) kullanımındır. VIM ocakları elektrik ark ocaklarından farklı özelliklere sahiptir. EAF ile karşılaştırıldığında; VIM ocaklarında hem ergitme hem de dökümün vakum altında yapılması nedeniyle çeliğin oksijen ve azot içeriklerinde önemli bir azalma sağlanmaktadır. VIM ocaklarında elektrik ark ocaklarında uygulanan cüruf pratiği uygulanmamakta ve temiz girdi malzemesi kullanılması durumunda fosfor ve kükürt giderme gibi metalurjik işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Sonuç olarak, seçilmiş hurda kullanılması durumunda VIM ocağı ile daha kontrollü ve tekrarlanabilir temiz çelik üretimi mümkündür. Şekil 4'de VIM ocağının çalışma prensibi şematik olarak sunulmuştur [4].

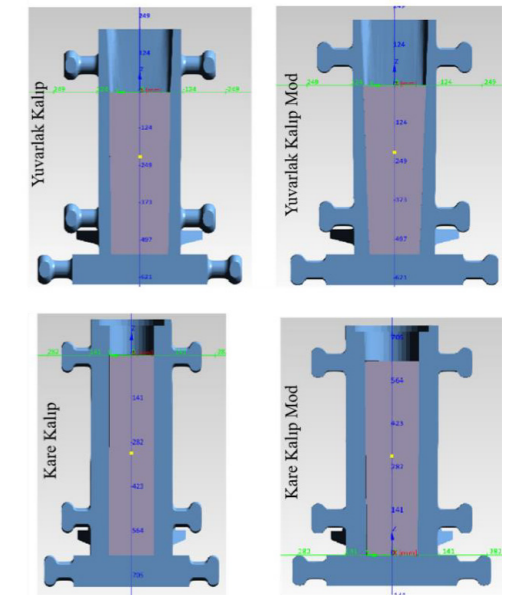


Şekil 4. VIM ocağının şematik görüntüsü [4].

Asil Çelik A.Ş Ar-Ge biriminde 100 kg kapasiteli, laboratuvar ölçekli deneysel üretimlerde kullanılan bir VIM ocağı bulunmaktadır. VIM ocağında farklı alaşımların art arda dökümü sırasında kontaminasyonu engelleyecek bir pota tasarımı kullanılmaktadır. VIM ocağında tüm çelik kalitelerinin dökümlerinin gerçekleştirilebilmesinin yanında, demir ve demir dışı yeni alaşım geliştirme çalışmaları da sürdürülmektedir.

### 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak yapılan katılaşma simülasyonlarıyla ingot kalıp tasarımları optimize edilmiş ve simülasyon sonuçları fiziksel döküm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çeliğin farklı kesit geometrisi ve eğim açısına sahip ingot kalıplarında dolmu ve katılaşma davranışı Asil Çelik A.Ş.'de bulunan MagmaSoft simülasyon programı ile incelenmiştir. Simülasyon programına girdi olarak üretimde kullanılan parametrelerin benzerleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında 2 farklı eğim açısına sahip yuvarlak ve kare kesitli olmak üzere toplam 4 farklı ingot kalıp geometrisinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. 4 farklı ingot kalıbına ait görsel Şekil 5'de sunulmaktadır. Yuvarlak kalıp mod ve kare kalıp mod eğim açısı artırılmış modellerdir. Bu kalıplardan en iyi ve en kötü sonuçları veren iki kalıp seçilmiş ve bu kalıplar üretilerek 100 kg kapasiteli laboratuvar tipi VIM ocağında deneysel dökümler gerçekleştirilmiştir. En iyi sonucu veren kalıp modeli endüstriyel ölçeğe taşınarak bu model üzerinde hem simülasyon çalışmaları hem de endüstriyel ölçekli döküm faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel ölçekli simülasyon sonuçları ile bunlara karşılık gelen endüstriyel ölçekli fiziksel dökümlerin sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Yuvarlak ve kare kalıpların tasarım değişikliği ile elde edilen kalıp modelleri.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

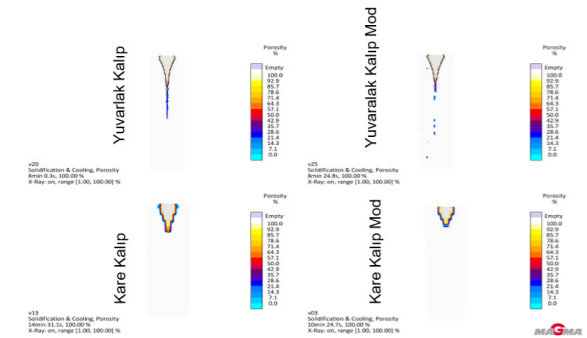
#### 3.1 Katılma Davranışı Simülasyon Sonuçları

Magmasoft simülasyon programında simülasyon çalışması gerçekleştirilen ve deneysel üretimde de kullanılan takım çeliğine ait kimyasal kompozisyon Çizelge 1'de sunulmuştur.

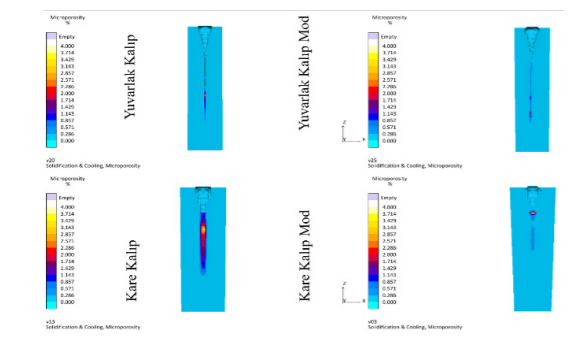
Çizelge 1. Kullanılan takım çeliğinin kimyasal analizi.

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0.35	0.20	1.30	1.8	0.15	0.9	0.01	0.01
-	-	-	-	-	-	-	-
0.45	0.40	1.60	2.1	0.25	1.2	0.05	0.05

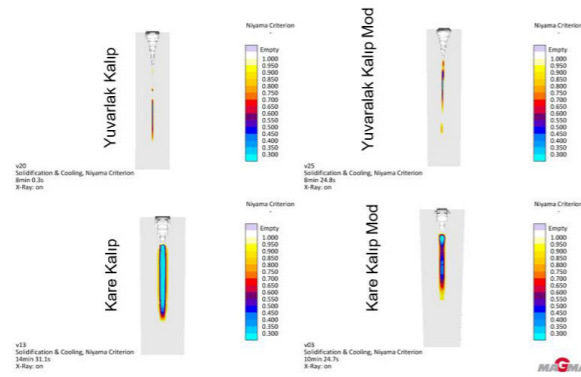
Simülasyon programına girdi olarak üretimde kullanılan parametrelere denk, gerçekçi parametreler tanımlanmaya çalışılmıştır. Dolum ve katılma safhalarını içeren simülasyonlar sonucunda, çeliğin katılma davranışı sıcaklık gradyanı ve soğuma hızına bağlı parametreler olan Niyama ve Hot Spot FS Time değerleri ile kantifiye edilirken, porozite ve mikroporozite değerleri yüzde olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan takım çeliğinin 4 farklı kalıp modelindeki katılma davranışını gösteren porozite sonucu Şekil 6'da, mikroporozite sonucu Şekil 7'de, Niyama kriteri sonucu Şekil 8'de ve Hot Spot FS Time sonucu Şekil 9'da sunulmuştur.



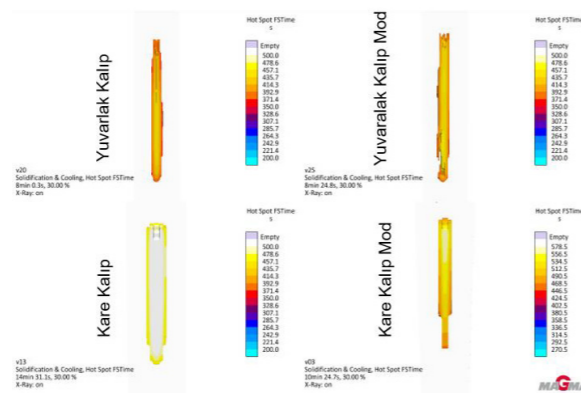
Şekil 6. Yuvarlak kalıp, yuvarlak kalıp mod, kare kalıp ve kare kalıp mod porozite sonuçları.



Şekil 7. Yuvarlak kalıp, yuvarlak kalıp mod, kare kalıp ve kare kalıp mod mikroporozite sonuçları.



Şekil 8. Yuvarlak kalıp, yuvarlak kalıp mod, kare kalıp ve kare kalıp mod Niyama kriteri sonuçları.



Şekil 9. Yuvarlak kalıp, yuvarlak kalıp mod, kare kalıp ve kare kalıp mod Hot Spot FS Time sonuçları.

Şekil 6'da sunulan 4 farklı kalıp tasarımına ait simülasyon sonuçlarına göre en fazla porozitenin yuvarlak kalıpta, en az porozitenin ise kare kalıp mod'da elde edildiği görülmektedir. Şekil 7'de bu dört kalıbın mikroporozite sonuçları karşılaştırılmıştır. Mikroporozite sonuçlarında, porozite sonucunda da gözlemlendiği gibi, kare kalıp mod'un en az mikroporozite miktarı ile en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Niyama kriteri ingottaki mikroporozite oluşum riskini öngörmekte kullanılmaktadır. Yaklaşık 0,3 ve 1 arasında elde edilen Niyama değerleri mikroporozite oluşumu açısından risk taşıyan bölgeleri göstermektedir [5]. Şekil 8'de sunulan sonuçlara göre ingotun orta bölgelerinde bulunan turkuaz renkli bölgeler en riskli bölgelerdir. Sonuçlara göre her ingot modelinde riskli bölgeler olmakla birlikte, ingotun katılma profiline göre en riskli kalıp yuvarlak kalıp ve en az riski taşıyan ise kare kalıp mod'dur.

Hot Spot FS Time katılma esnasında daha yavaş soğuyan ve beslemeye en fazla ihtiyacı olan bölgeleri göstermektedir.

Beslemeye en çok ihtiyaç olan bu bölgede çekintiye ve poroziteye yol açabilecek katılma davranışı meydana gelebilir. Şekil 9'da 4 farklı kalıp modeli için sunulan Hot Spot FS Time sonuçları daha önceki sonuçlarla paralellik göstermektedir. Yuvarlak kalıpta ingotun alt kısmına doğru hacmine oranla daha uzun bir geç katılma riskli bölgesi gözlemlenirken kare kalıpta bu riskli bölge daha üst kısımda ve hacimce daha küçüktür.

#### 3.2 VIM Ocağında Üretilen Deneysel İngotların Morfolojik Karakterizasyonu

Simülasyon sonuçlarına göre en iyi sonucu kare kalıp mod ve en kötü sonucu yuvarlak kalıp vermiştir. Buna göre Çizelge 1'de paylaşılan kimyasal kompozisyona sahip takım çeliği kalitesi bu iki kalıpta VIM ocağında üretilmiştir. Şekil 10'da üretilen ingotlara ait görüntüler sunulmuştur.

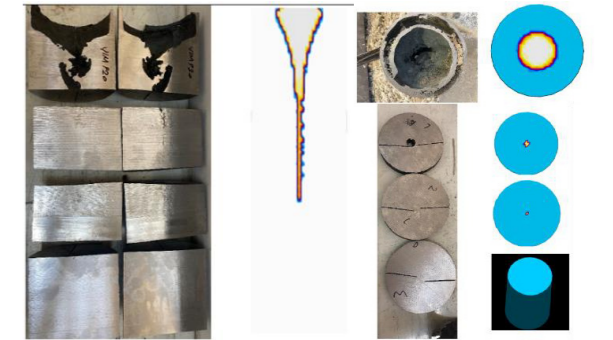


Şekil 10. VIM ocağında üretilen ingotlar: a) yuvarlak kalıpta b) kare kalıp mod'da.

Üretilen ingotların katılma davranışlarının simülasyon sonuçları ile doğru bir biçimde karşılaştırılabilmesi için ingotlardan enine ve boyuna kesitler alınmıştır. Yuvarlak kalıpta üretilen ingotun enine ve boyuna kesitleri Şekil 11'de, kare kalıp mod kalıbından üretilen ingotun enine ve boyuna kesitleri ise Şekil 12'de sunulmuştur.

#### 3.3 Simülasyon Sonuçları ile Deneysel Döküm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Simülasyon ile 4 farklı kalıpta katılma davranışı incelenen takım çeliği kalitesinin VIM ocağında seçilen iki kalıpta deneysel dökümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12'de üretilen deneysel ingotların kesitleri ile simülasyon sonuçlarındaki kesit görüntüleri karşılaştırılarak sunulmuştur. Şekil 11'de yuvarlak kalıba ait karşılaştırma ve Şekil 12'de kare kalıp mod'a ait karşılaştırma görülmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12 sunulan sonuçlar değerlendirildiğinde deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının ingot kesitlerinin her bölgesinde büyük oranda uyumu olduğu görülmektedir.



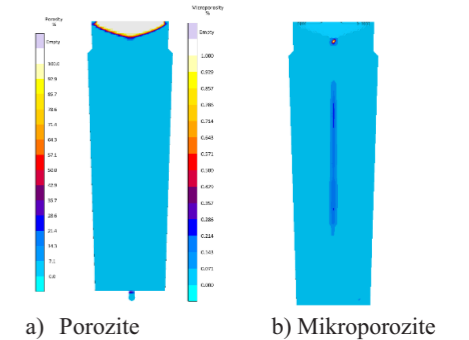
Şekil 11. Yuvarlak kalıpta deneysel üretilen ingotun kesitleri ile simülasyon sonuçlarındaki kesit görüntülerinin karşılaştırılması.



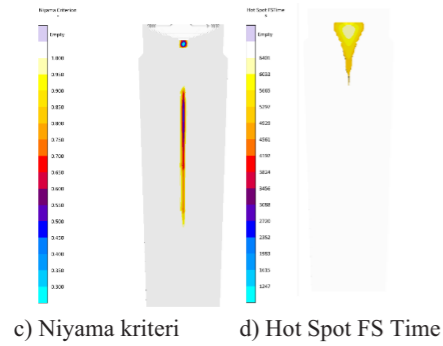
Şekil 12. Kare kalıp mod'da deneysel üretilen ingotun kesitleri ile simülasyon sonuçlarındaki kesit görüntülerinin karşılaştırılması.

#### 3.4 Endüstriyel Ölçekli İngot Kalıp Simülasyonu ve Endüstriyel Ölçekli İngotun Üretimi

Yapılan simülasyon ve deneysel üretim sonuçlarına göre kare kalıp mod en an katılma hatası veren kalıp olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kare kalıp mod modeli endüstriyel ölçeğe taşınmış ve katılma davranışı simüle edilmiştir. Bu kalıp endüstriyel boyutta üretilmiş ve deneysel çalışmalarda da kullanılan takım çeliğinin endüstriyel dökümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 13'te endüstriyel ölçekli ingotun simülasyon ile belirlenen porozite, mikroporozite, Niyama kriteri ve Hot Spot FS Time sonuçları sunulmuştur.



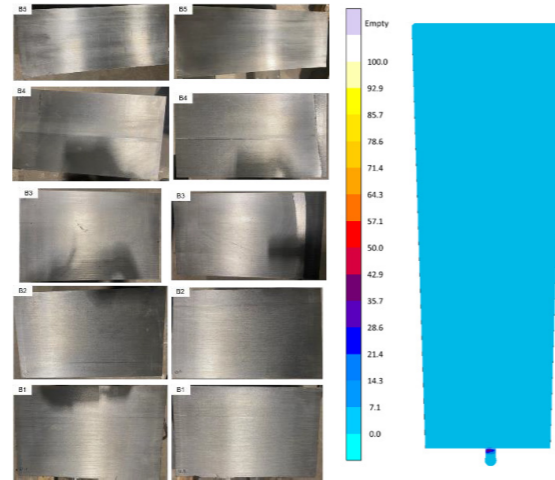
a) Porozite b) Mikroporozite



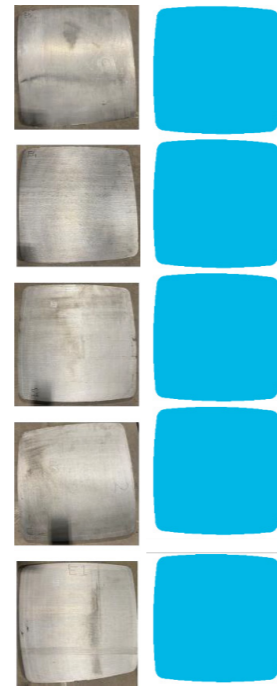
Şekil 13. Endüstriyel ölçekli ingotun simülasyon sonuçları.

Şekil 13a'da endüstriyel ölçekli dökümda kullanılmış olan kalıbın porozite sonucu gösterilmiştir. Beklendiği gibi porozite ingotun en üstünde sıcak başlık bölgesinde kalmıştır. Sıvı fazdan katı faza geçerken istisnalar hariç malzemelerin yoğunlukları artmakta, dendritik katılaşma gerçekleşmekte ve faz dönüşümleri meydana gelmektedir. Tüm bu sebeplerde dolayı katılaşma sırasında malzemede çekinti boşluğu ve porozite oluşabilmektedir. Şekil 13b'de endüstriyel ingotun simülasyon ile elde edilmiş mikroporozite sonucu görülmektedir. Mikroporozite, katılaşma devam ederken dendritlerin ikincil kolları arasında oluşmaktadır. Mikroporozite oluşum mekanizması sıvı metalin dendrit kolları arasında hapsolmesi ve katılaşırken ise ardında çekinti boşluğu bırakması ile açıklanabilir. Şekil 13c'de endüstriyel ingotun Niyama kriteri sonucu paylaşılmıştır. Niyama kriteri de değer olarak mikroporozite oluşum riskini öngörmektedir. Şekil 13b ile Şekil 13c karşılaştırıldığında mikroporozite ve Niyama kriteri sonuçlarındaki paralellik görülmektedir. Şekil 13d'de ise endüstriyel ingotun Hot Spot FS Time sonucu sunulmuştur. İngotun yukarısına doğru yönlendirilen katılaşma profili sayesinde lunke olarak da adlandırılan çekinti boşluğunun arzu edilen şekilde ingotun üst bölgelerinde toplandığı görülmektedir [5-7].

Endüstriyel boyutlu kare kalıp mod modelinde elde edilen olumlu simülasyon sonuçlarına göre çalışmada örnek kalite olarak kullanılmakta olan takım çeliğinin endüstriyel ölçekli üretimi gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel ölçekte üretilen ingottan da VIM ocağında üretilmiş deneysel ingotlara benzer şekilde enine ve boyuna kesitler alınmıştır. Kesimi gerçekleştirilen endüstriyel ölçekteki ingotun kesitleri ile simülasyon sonuçlarındaki kesit görüntülerinin karşılaştırılması Şekil 14 ve Şekil 15'te sunulmuştur. Şekil 14'te boyuna kesitlerin, Şekil 15'te ise enine kesitlerin sonuçları yer almaktadır. Bu sonuçlar endüstriyel olarak üretilen ingotta ne boyuna ne de enine kesitte herhangi bir katılaşma kaynaklı hata bulunmadığını ve endüstriyel ingotun katılaşma davranışının simülasyon ile gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 14. Endüstriyel ölçekli üretilen ingotun boyuna kesiti ile simülasyon sonuçlarındaki boyuna kesit görüntülerinin karşılaştırılması.



Şekil 15. Endüstriyel ölçekli üretilen ingotun enine kesiti ile simülasyon sonuçlarındaki boyuna kesit görüntülerinin karşılaştırılması.

#### 4. Sonuç

Laboratuvar ölçekli kalıplardan endüstriyel ölçekli kalıplara genişletilen simülasyon çalışmaları yuvarlak kalıp geometrisinden kare kalıp geometrisine gidildiğinde ve kalıbın eğim açısı arttırıldığında porozite ve mikroporozite

miktarlarının düştüğünü ve daha az hata barındırma ihtimali olan bir katılaşma yapısı oluştuğunu göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında simülasyon çalışmaları ile optimize edilen kare kalıp geometrisi endüstriyel ölçekte üretilmiş ve bu kalıpta deneme dökümleri yapılmıştır. Endüstriyel ölçekli simülasyon çalışmaları ile bunlara karşılık gelen endüstriyel ölçekli fiziksel dökümlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ölçeğindeki simülasyonlar ile fiziksel dökümlerin sonuçları arasındaki örtüşmenin endüstriyel boyuttaki simülasyon ve döküm sonuçları arasında da olduğu görülmüştür. Girdi parametrelerinin pratikte uygulanan şartlara uygun olarak tanımlanması durumunda simülasyon sonuçlarının ingot katılaşma davranışını kestirimde başarılı olduğunu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ingot döküm için kalıp tasarımı ve üretim parametrelerinin optimizasyonunda sonlu elemanlar analiz yöntemi ile simülasyonun kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

#### Referanslar

- [1] Aydın, M. (2017). *Çelik Malzemeler*. İstanbul.
- [2] Thomas, C., Rosales, J., Polanco, J.A., Agrela, F. (2019). In A.A. Steel slags, in de Brito, J., Agrela, F. (Eds.), *New Trends in Eco-Efficient and Recycled Concrete* (Vol. 1, pp.169). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102480-5.00007-5>
- [3] Singh, R. (2012). Applied Welding Engineering. Processes, Codes and Standards. In A.A. *Production of Steel* (Vol. 1, pp.33-50). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9780123919168/applied-welding-engineering#book-info>
- [4] Schweinichen, P., Chen, Z., Senk, D., Lob, A. (2013). Effect of different casting parameters on the cleanliness of high manganese steel ingots compared to high carbon steel, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 44 (12), 5416-5423.
- [5] Carlson, K. D. ve Beckermann, C. (2008). Use of the Niyama Criterion To Predict Shrinkage Related Leaks in High-Nickel Steel and Nickel-Based Alloy Castings. In: *Proceedings of 62nd SFSA Technical and Operating Conference*, (Paper no.5-6). Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, December 2008.
- [6] Zou, C., Kang, H., Li, R., Li, M., Wang, W., Chen, T., Wang, T. (2016). The effect of rotating magnetic field on the microstructure of in situ TiB<sub>2</sub>/Cu composites, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 117(1), 012043.
- [7] Glicksman, E. (2011). *Principles of solidification: an introduction to modern casting and crystal growth concepts*. New York, N.Y.: Springer Verlag.

## Alaşımız Elektrot ve Kaynak Teli Kullanımına Uygun Çeliklerin Dökülebilirlik Performansının Arttırılması

### Increasing The Castability Performance of Electrode and Welding Wire Grades

◆  
İlker AYÇİÇEK, Kübra AKGÜN, Nurettin KARGAOĞLU, Mahir Ünal BAKİ  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### ÖZET

Bu çalışmada elektrod ve kaynak teli imalatına uygun olan S1 çelik kalitesinde kütük sürekli döküm üretim, dökülebilirlik performansının arttırılması konusu ele alınmıştır. Çalışmaya konu olan kalite silisyum ve mangan elementi ile deoksidedilerek üretilmektedir. Üretim sırasında mangan ve silisyum değerinin düşük olması nedeni ile dökülebilirlik performansı, çelik ve cüruf deoksiasyon pratiği ile yakından ilgilidir. Silisyumla deoksidedilmiş düşük oksijen içeren kalitelerde en büyük sorunlardan biri Sürekli dökümde yaşanan nozul tıkanmaları ve kanama problemleridir. Yapılan ön çalışmada sürekli dökümde yaşanan nozul tıkanmalarının ve kanamaların kök nedenini anlayabilmek için ikincil metalürji prosesindeki üretim parametreleri, ikincil metalürji giriş-çıkış O %, Al %, ilave edilen CaO ve CaF<sub>2</sub> miktarı, tandiş stoper seviyeleri incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda kükürt giderme hedefi optimize edilmiş, cüruf yapma pratiği gözden geçirilmiş, % C değeri Peritektik bölgeden çıkarılmış, deoksiasyon ve alaşımlama amaçlı verilen Al miktarı sınırlanmıştır. Potadaki giriş-çıkış cüruf numuneleri gözle incelenmiştir. Bu parametrelerle birlikte alınan üretimlerde stoper seviyelerinde tıkanma problemi kontrol altına alınmıştır. Tandişte alınan döküm sayısı arttırılmış, dökümlerde tıkanma ya da kanama kaynaklı plansız bitişler azaltılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak ve Elektrod Teli, Sürekli Döküm, Kütük Üretimi, İkincil Metalürji, Curuf, Deoksiasyon, Dökülebilirlik

#### ABSTRACT

In this study, the castability performance of S1 steel grade billet, which is suitable for the manufacture of electrode welding wire are discussed. The grade subject to the study produce deoxidation with silicon and manganese elements. Due to the low manganese and silicon value during production, the castability performance is closely related to the steel and slag deoxidation practice. One of the biggest problems in silicon deoxidized low-oxygen grades is nozzle clogging and bleeding problems in continuous casting. In the preliminary study, production

parameters in the secondary metallurgy process, secondary metallurgy inlet-outlet O %, Al %, added CaO and CaF<sub>2</sub> amount, tundish stopper levels were investigated in order to understand the root cause of nozzle clogging and bleeding in continuous casting. As a result of the examination, the desulfurization target optimized, the slag making practice reviewed, C % value decreased under the peritectic region, and the amount of Al given for deoxidation and alloying purposes limited. The inlet-outlet slag samples in the ladle were visually inspected. In the productions taken with these parameters, the problem of clogging at the stopper levels has been taken under control. The heat of castings taken in the tundish has been increased, and unplanned endings due to clogging or bleeding in the castings have been reduced.

**Key Words:** Electrode and welding wire, Continuous Casting, Billet Production, Secondary Metallurgy, Slag, Deoxidation, Castability

#### 1. Giriş

Elektrod ve kaynak teli imalatına uygun olarak üretilen S1 kalitesi silisyum ve manganla deoksidedilerek üretilmektedir. Üretim sırasında mangan ve silisyum değerinin düşük olması nedeni ile dökülebilirlik performansı çelik ve cürufun deoksiasyon pratiğine bağlıdır.

Çalışmada sürekli döküm kütük makinasındaki S1 kalitesinin dökülebilirlik performansının arttırılması ele alınmıştır. Üretimi yapılan kaliteler Yüksek Fırın- Kükürt Giderme İstasyonu- Bazik Oksijen Konverteri- İkincil Metalürji İstasyonu -Kütük Döküm Makinası-Kangal Haddehanesi proseslerinden geçerek üretilmektedir.

İkincil metalürji prosesine gelen dökümün curufu gözle kontrol edilir. Girişte oksijen ölçümü alınır. Gözle kontrol sonrası sıcaklık ölçümü ve kimyasal analiz alınır. Curuf yapısına göre fluks ilavesi ve deoksiasyon amaçlı Al verilir. Silis deoksidedilmiş kalitelerde curufu deoksidedilmek amaçlı verilen Al miktarı kritiktir. İstasyonda işlemi

tamamlanan döküm çıkış oksijen ölçümü alınarak dökülmek üzere kütük döküm makinasına gönderilir.

Çalışmada S1 kalitelerinde sürekli döküm kütük makinasında yaşanan tıkanma ve kanama kaynaklı kanal kayıplarının azaltılması bununla birlikte tandişte alınan döküm sayılarının arttırılması amaçlanmıştır.

Çalışma öncesinde 1 tandişte ortalama 2,18 döküm alınmakta olup, ilgili tandişlerde genelde 1008-1010-1006 kalitelere bindirme yapılarak tandiş dökümü başlatılmaktadır.

Tablo 1 Kalitenin Kimyasal Analizi

KALİTE	C		Mn		P		S		Si		Al	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
6.3008_01	0,09	0,45	0,55		0,015		0,015		0,07		0,025	

Tablo 2 Tandiş Döküm Sayısı Performansı

Kaliteler	Ortalama Tandişde Alanan 6.3008_01 Kalite Döküm Sayısı	Tandiş Başlangıç Kalitesi
1.1006_00	1,93	27
6.3008_01	3,56	9
1.1010_00	1,75	4
1.1008_00	1,33	3
5.1006_03	1,00	1
Genel Toplam	2,18	44

#### 2. Deneysel Çalışmalar

Silisyumla deoksidedilmiş düşük oksijen içeren kalitelerde en büyük sorun tandişte ve potada nozul tıkanmalarıdır. İlgili çeliklerde tıkanma öncesi istasyonda olma eğiliminde olan işaretler aşağıdaki gibidir;

- Karbon seviyesi >0,20 % olan çeliklerde Al seviyesinin 30 ppm den yüksek olması
- Çözünmüş oksijen seviyesinin 20 ppm in altında olması
- İstasyonda kükürt giderme işleminin fazla uygulanması
- Pota işlem süresinin 45 dakikadan fazla olması

Silisyumla deoksidedilmiş çeliklerde tıkanma eğilimini azaltmak için kullanılan yöntemler;

- Düşük alüminyum içeren ferroalyajları kullanmak
- Pota ve tandiş içerisinde sıvı çeliğin oksijen içeriğinin arttırılması
- Sürekli dökümün başlangıcından bu yana nozul tıkanmasını önlemek için tandişteki çeliğin oksijen seviyesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Ancak oksijen seviyesinin

artması; kütük yüzeyinde cüruf oluşumuna, iç yapıda kirliliği, gaz boşluğuna neden olur.

Kalitede yaşanan tıkanma ve aşınma problemlerinin kök neden tespitini yapabilmek için ikincil metalürji prosesinde; deoksiasyon amaçlı verilen Al, giriş-çıkış oksijen, dökümün C % değeri, yuzdürme süresi, işlem süresi gibi parametreleri içeren bir veri seti hazırlanmıştır.

Hazırlanan veri seti ile detaylı inceleme yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda aşağıdaki maddeleri içeren bir deneme üretimi alınmıştır.

- DES S hedefi sınırlanmıştır.
- Temiz çelik üretimi için S max. 120 ppm olacak şekilde çıkış hedeflenmelidir.
- Döküm istasyona girdiğinde ilk olarak giriş oksijen ölçümü yapılmalıdır.
- Curuf durumuna göre kireç ve fluşpat ilavesi yapılacak olup akışkan bir curuf yapısı istenmektedir.
- Giriş oksijen ölçümü 90-120 ppm arası gerçekleşen dökümlere atılan 10 torba piramit Al nin stoper tıkanmasına yol açtığı görülmektedir. Bu nedenle yüksek Al takviyesinden kaçınılmalıdır.
- C seviyesi minimum ölçüde tutulmalıdır.

#### 3. Sonuçlar ve Tartışma

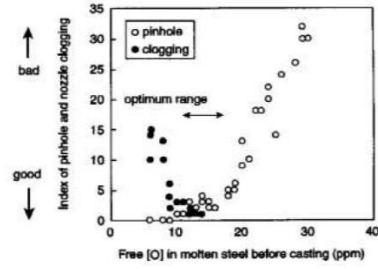
Hazırlanan prosedüre göre üretilen dökümlerde tandişteki döküm sayısı artmıştır. Üretilen 4 tandişte 17 döküm yapılmıştır. S1 kalitesinin tandişte üretim oran 4,25 döküm/tandiş olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 3 Deneme Sonrası Yapılan Üretimler

Kalite	Tandiş no	Alınan döküm sayısı
6.3008_01	1	5
6.3008_01	1	4
6.3008_01	1	5
6.3008_01	1	3
Ortalama tandişte alınan döküm sayısı		4,25

Alümina inklüzyonları; Alüminyum oksitleri nozul yüzeylerinde alümina olarak çökler ve nozul üzerinde sinterleşmiş bir yapı oluşturarak nozulun tıkanmasına neden olur. Deneme olarak alınan üretimlerde deoksiasyon amaçlı verilen piramit Al sınırlanmış olup böylelikle alümina inklüzyonlarının oluşumu önlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda yapılan denemelerde sıvı inklüzyon oluşturmak hedeflenmiştir. Sıvı inklüzyon oluşumu; spinel inklüzyonları minimum emek ve cüruf içerisinde katı partikülleri absorbe etmekle birlikte nozul tıkanma problemlerini önleyecektir.





Şekil 1 Çelikte Oksijen Seviyesi ve Tıkanma[1]

Nozul Tıkanma Problemlerinden Kaçınmak İçin;

\*Alüminyum seviyelerini 30 ppm mertebelerinde tutmak gerekmektedir.

\*Etkin bir kalsiyum treatment işlemi yapmak gerekmektedir.

\*Etkin karıştırma ile inklüzyonların cüruf yüzeyine çıkmasını sağlamak hedeflenmelidir.

\*Çelikte çözülmüş oksijen seviyesini 10-20 ppm mertebelerinde tutmak hedeflenmelidir.

Sürekli döküm makinasında düşük döküm sayılı kalıpların üretime girmesi, tandişin üzerinin tamamıyla örtü tozu ile kaplanması, stoper seviyelerinin yakından takip edilmesi ve tandişte hidrojen ölçümünün yapılması üretilebilirliğe katkı sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Silicon Killed Steel Nozzle Clogging By Gregory L. Dressel Technologies LLC

## Demir Çelik Sektöründe Karbonsuzlaştırma ve Yeşil Çelik Üretimi

### Decarbonization and Green Steel Production in Iron and Steel Industry



**Aziz KILIÇ**

BCS Enerji Mühendislik - Türkiye

Karbon salınımının çok yüksek seviyede olduğu Demir-Çelik sektöründe karbonsuzlaştırma ve yeşil enerji çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılabilecek en önemli çalışmalardan bir tanesi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı olmalıdır. Avrupa Birliği Konseyi tarafından duyurulan Yeşil Mutabakat yönetmelikleri, yeşil enerjinin ve karbonsuzlaştırmanın gelecek adına önemini bir kez daha ortaya çıkarmaktadır. Geniş bir sanayi ve istihdam kapasitesine sahip Demir-Çelik sektörü içinse yeşil çelik üretiminin mümkün mertebe en hızlı olacak şekilde uygulamaya geçmesi gerekir.

Dünyadaki petrol rezervlerinin aşırı kullanımı sonucu azalması ve buna bağlı olarak fiyatının artması, ayrıca çevreye vermiş olduğu zararlar bizleri doğada bol miktarda bulunan ve çevreci olan alternatif yakıtlar üzerinde araştırma yapmaya yöneltmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının çevreye verdiği zararların çok büyük boyutlara ulaşması ülkeleri bu konuda önlemler almaya itmiştir.

Yapılan çalışmalar evrende bol miktarda bulunan hidrojenin, bir yakıt için gerekli özelliklerin bir çoğuna sahip olduğunu göstermektedir. Hidrojen, suyun ve temiz güç kaynağının olduğu her yerde potansiyel olarak mevcuttur. Diğer yakıt türlerine kıyasla daha verimli yanma özelliğine sahiptir. Hidrojen, karbon ve sülfür içermediği için yanma ürünleri arasında CO, CO<sub>2</sub> ve HC yoktur. Teorik olarak hidrojen yandığı zaman sadece su oluşur.

Hidrojenin birçok yönüyle ekolojik açıdan avantajlı olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. İkincil bir enerji kaynağı durumunda olan hidrojenin değişik ve yenilenebilir birincil enerji kaynakları ile elde edilebilir olması, bu yakıt türünü geleceğin en önemli enerji taşıyıcısı durumuna sokacağı kabul edilmektedir.

Ayrıca hidrojen diğer fosil yakıtlarla kullanılabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliğiyle de bir çok avantajlar sağlamaktadır. Bunlar:

1. Yakıt/hava karışım sınırı düşürülmesi sonucu NOX ve CO emisyonlarının azalması ve termal verimliliğin artması
2. Çevrimler arasındaki basınç farklarının azalması
3. Karışımın alev hızının artması

Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen, doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz hidrojenin birim kütesinin ısı değeri sıvı hidrojenle aynı olup, doğal gazın 2.8 katı kadardır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerinden biri farklı hava hidrokarbon karışım oranları için hava fazlalık katsayısının 0.3-1.7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilen iken hidrojen için bu sınır 0.15-4.35 değerlerine ulaşmaktadır. Hidrojen-hava karışımlarını ateşlemek için gerekli enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla çok düşüktür.

En küçük molekül hidrojen molekülü olduğu için diğer sıvı ve gaz halindeki yakıtlara nazaran küçük aralıklardan sızma olanağı daha fazladır. Viskozite, havada yayılma katsayısı ve deliklerden geçme eğilimi, doğal gazla kıyasla hidrojen 1.26 ila 2.8 kat daha yüksektir. Doğal gazın enerjisi hidrojen 3 kat fazla olduğu için doğal gaz kaçakları daha çok enerji kaybına neden olur.

Dünyamızda halen kullanılan fosil yakıtlar petrol, doğal gaz, kömür ve odun olmaktadır. Bu yakıtlar oksijen gazı ile birleşerek yandıktan sonra çıkan gazlar dünyayı kirletmektedir. Enerji ihtiyacımızın yüzde 80 kadarı fosil yakıtlardan sağlanıyor. Atmosfere yayılan zehirli gazları insanlar soluyor. Bu gazların yaptığı sera etkisi ile dünya ısınıyor, buzullar eriyor, seller oluyor, iklimler değişiyor. Nükleer enerji ısıyla sorunlarımızı daha fazla artırmaktadır. Mevcut enerji düzenimizin yarattığı olumsuzluklara karşın hidrojen enerjisi yenilenebilir temiz enerji olduğu için kurtarıcı olacaktır. Önemli olan hidrojenin kirliliği yaratmadan üretilmesidir.

Bu kapsamda firmamızın öncülük yaptığı endüstriyel yakma sistemlerinde hidrojen kullanımının önemi fazlasıyla ortaya çıkmıştır. Doğalgaz yakıtı yerine hidrojen yakıtı kullanılarak karbon ayak izinin sıfır olması hedeflenmektedir.

Hidrojen gazını ve hidrojenle oksijeni yakıt olarak endüstriyel alanda kullanımı, kontrolü hidrojen ve HHO brülörü ile gerçekleştirilmektedir. Hidrojen gazı doğalgaz ile karşılaştırıldığında temiz ve çevreci bir enerji kaynağıdır. Hidrojen gazı farklı yöntemler ile elde edilmektedir. En bilinen yöntem suyun elektroliz veya plazma teknolojisiyle ayrıştırılarak yapılmasıdır. Suyun (H<sub>2</sub>O) bileşenleri ayrıştırılarak hidrojen gazı ve oksijen gazları elde edilmektedir. Hidrojen bazı gazlar ile reaksiyona girdiğinde tehlikeli olmaktadır. Büyük patlamalara neden olur. Hidrojeni günümüzde mevcut olan yakıtlara alternatif olarak kullanıma sunulmaktadır. Bu alternatif yakıtların bazıları; doğalgaz, fuel oil, dizel, LPG, LNG, biogaz, propan, ve kömür benzeri katı yakıt türleridir. Elde edilen hidrojeni yakma sistemine uygun hale getirilmesi çok önemlidir. Farklı gazlar ile birleştiğinde patlama riski çok büyüktür. Bu nedenle emniyet kuralları en üst seviyede yapılarak yakıt olarak kullanılması gereklidir. Hidrojen gazının kontrol sistemi önemlidir. Hava ile karışım en ideal şekilde verilmelidir. Bu sistemde debi kontrolü yapılmaktadır. Hidrojen, oksijen, HHO hava debileri ayrı ayrı okunarak birbirlerine oranlayarak yakma yapılmaktadır.

Hidrojen gazı endüstriyel brülör yakma yapılan bütün sistemlerde kullanılabilir. Demir-çelik fırınları, alüminyum ergitme, alüminyum tutma, levha ve biyet, döner ve devrilebilir, yolluk ısıtma, homojenizasyon, yaşlandırma, döküm, dövme, tavlama ve ısıtma işlem, hadde, pota ve tandiş ısıtma, çan ve kuyu tipi, gerilim giderme, çelikhane potaları, tel tavlama, kurşun ve çinko, seramik ve cam, frit, tünel, kurutma ve bertaraf, yangın test, boru tavlama, meneviş, boya kurutma, emaye, döner kalsinatör, kurutma fırınları ve kazan sistemlerde kullanılabilir.

Hidrojen gazı yanma sonucunda oluşan atık gazları minimize eder. Diğer yakıtlar ile yapılan yanma sonucunda çevreye zararlı gazlar bacadan atılmaktadır. Doğalgaz ve diğer yakıt türü ile yanma yapıldığında NO<sub>x</sub> ve CO miktarları çok yüksek çıkmaktadır. Hidrojen gazı kullandığımızda reaksiyon sonucu zararlı gazlar oluşmadığından çevreci bir yakıt türüdür. Baca gazı değeri yok denecek kadar minimum seviyelerde çıkmaktadır. Hidrojen gazı ile yakma yapıldığında karbon ayak izleri sıfıra yakın değerlerde çıkmaktadır.

Artık fırınlar hidrojen yakıt sistemine uygun olarak tasarlanabilmektedir. Yatırım maliyetlerinin zamanla daha uygun seviyelere ulaşacağı öngörülmektedir. Mevcut teknolojik yapımız ile her türlü fırına uygulanabilecek şekilde tüm veri ve bilgilere ulaşılmıştır.

## Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Çelik

### European Green Deal and Green Steel



**Seçil KAYATURAN, İ. Erdem ERTÜRK, Berkman İŞÇİ, Fatih ESİN, Onur ACUR, Fikret FURTUN, Mücahit SEVİM**  
Kardemir A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

Within the scope of the European Green Agreement, it is aimed to reduce greenhouse gas emissions by 55% compared to 1990 until 2030, and carbon-neutral activities until 2050. The European Green Consensus prepared on this subject envisages a new growth strategy for the transformation of the industry as well as environmental awareness. In this framework, the "Carbon Border Adjusting Mechanism (CBAM)" is planned to be implemented by 2026. CBAM covers a total of 5 sectors, namely iron-steel, cement, fertilizer, aluminum, and electricity generation. It was decided to establish the CBAM Authority and Central Database institutions in order to determine the actual carbon emission amount, scope, and tax rate of EU and non-EU origin products. Different methods are followed in order to reduce the CO<sub>2</sub> emission, which is about 7% of iron and steel origin, and to reach the carbon-neutral target worldwide. Accordingly, it is planned to capture, store and process the CO<sub>2</sub> released to the natural environment and to use renewable resources (hydrogen, solar energy, wind energy, biomass, etc.) instead of fossil fuels. The use of carbon-free and zero-emission energy technologies is taken into account for the transition to green steel production in integrated iron and steel plants. For scenarios of transition to green steel production, hydrogen injection into blast furnaces, carbon capture, utilization and/or storage technologies, hydrogen direct reduced iron-shaft furnace, hydrogen directly reduced iron-fluidized bed, suspension iron production technology, direct plasma iron, and steel production and electrolytic reduction applications are discussed.

#### Özet

Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının 1990 yılına kıyasla % 55 oranında azaltılması, 2050 yılına kadar da karbon nötr faaliyetler hedeflenmektedir. Bu konuda hazırlanan Avrupa Yeşil Mutabakatı çevre duyarlılığının yanı sıra sanayinin dönüşümü için de yeni bir büyüme stratejisi öngörmektedir. Bu çerçevede "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)"nın 2026 itibarı ile hayata geçirilmesi planlanmıştır. SKDM, demir-çelik, çimento, gübre,

alüminyum ve elektrik üretimi olmak üzere toplam 5 sektörü kapsamaktadır. AB ve AB dışı menşei ürünlerin gerçek karbon emisyon miktarı, kapsamı ve tabi olunacak vergi oranının belirlenmesi için SKDM Otoritesi ve Merkezi Veri Tabanı kurumlarının ihdas edilmesine karar kılınmıştır. Dünya genelinde yaklaşık % 7'si demir-çelik kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmak ve karbon nötr hedefine ulaşmak için farklı yöntemler izlenmektedir. Buna göre, doğal ortama salınan CO<sub>2</sub>'in yakalanması, depolanması, işlenmesi ile yenilenebilir kaynakların (hidrojen, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle vb.) fosil yakıtların yerine kullanılması düşünülmektedir. Entegre demir-çelik tesislerinde yeşil çelik üretimine geçişi için karbonsuz ve sıfır emisyonlu enerji teknolojilerinin kullanımı dikkate alınmaktadır. Yeşil çelik üretimine geçiş senaryoları için de yüksek fırınlara hidrojen enjeksiyonu, karbon yakalama, kullanma ve/veya saklama teknolojileri, hidrojenle doğrudan indirgenmiş demir-şaft fırını, hidrojenle doğrudan indirgenmiş demir-aışkan yatak, süspansiyon demir üretim teknolojisi, doğrudan plazma demir çelik üretimi ve elektrolitik indirgeme uygulamaları konuları irdelenmektedir.

#### 1. Giriş

Temel olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) dayanan Paris Anlaşması, Kyoto Protokolü'nün sona erme tarihi olan 2020 yılı sonrası iklim değişikliği rejimini düzenlemeyi amaçlamaktadır [1].

2021 yılında yürürlüğe giren ve ortalama küresel sıcaklık artışının 2°C'nin altında (1.5°C ile sınırlanması) tutulmasını hedefleyen bu Anlaşma, 12 Aralık 2015 tarihinde Türkiye'nin de dâhil olduğu 195 ülkenin oy birliğiyle 2015 yılı Kasım ayında yapılan Paris İklim Konferansı'nda kabul edilmiştir.

2019 yılında AB Komisyonu, AB'nin yeni büyüme stratejisi olarak "European Green Deal (Avrupa Yeşil Mutabakatı)" bildirisini açıklamıştır. Bu Bildiri ile AB; sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar 1990 seviyesine göre %50-55 azaltma ve 2050 yılı için de "Karbon Nötr" hedeflenmiştir [2].

Rekabet gücümüzün uluslararası alanda geliştirilmesi, ülkemizin küresel tedarik zincirlerindeki yerinin korunması ve güçlendirilmesi amaçlı yeşil yatırımların teşvik edilmesi için yol haritası niteliğinde Eylem Planı hazırlanmış ve uygulamaya yönelik Cumhurbaşkanlığı Genelgesi 16.07.2021 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanmıştır [3]. Bu kapsamda Avrupa Yeşil Mutabakatı ile uyumlu; kamu, özel sektör ve ilgili tüm paydaşların da yer alacağı hedef ve faaliyetler belirlenmiştir [4]. TBMM tarafından "Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun" ise 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir [5].

## 2. Avrupa Yeşil Mutabakatı

Avrupa Yeşil Mutabakatında temel düzenlemeler ve politikalar bulunmaktadır [6]. Bunlar;

- Taşımacılıkta sera gazı emisyonlarının azaltılması,
- Düşük karbon teknolojilerinin desteklenmesi,
- Florlu sera gazlarının aşamalı olarak azaltılması,
- Ozon tabakasının korunması,
- İklim değişikliğinin etkilerine hazırlanılması,
- Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımlarının gerçekleştirilmesi,
- Yeni teknolojilere yönelik araştırmalar için çeşitli finansal desteklerin sağlanması,
- Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) ile Sınırdaki Karbon Düzenleme mekanizmalarının 2026 yılı itibarı ile hayata geçirilmesi,
- 2026 yılı itibarı ile SKDM çerçevesinde demir-çelik, çimento, gübre, alüminyum ve elektrik üretimi ile ilgili sertifikalandırma sisteminin uygulanması.
- 2026 yılı itibarı ile karbon emisyon sınır değerini aşan ürünlerde her 1 ton karbon emisyonu için ortalama 55-60 € seviyesinde ek vergisinin uygulanması [7].

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Sera Gazı Emisyonlarını üç kategoride incelemektedir [8];

Kapsam 1 – Bir kuruluşun faaliyetlerinden veya kontrolleri altındaki tüm doğrudan emisyonlar (Gaz kazanları, filo araçları ve klima sızıntıları gibi sahada yakıt yakma dâhil.)

Kapsam 2 – Kuruluş tarafından satın alınan ve kullanılan elektrikten kaynaklanan dolaylı emisyonlar.

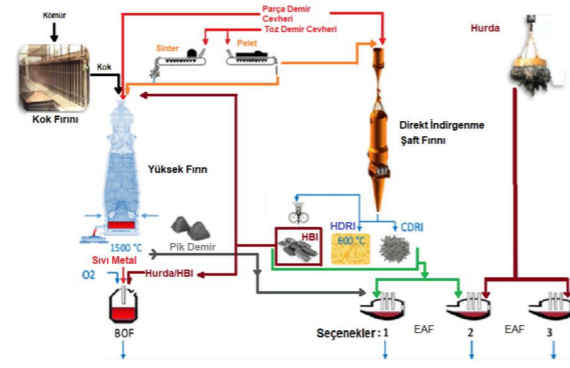
Kapsam 3 – Kuruluşun faaliyetlerinden kaynaklanan, sahip olmadığı veya kontrol etmediği kaynaklardan kaynaklanan ve karbon ayak izinin en büyük paya sahip diğer emisyonlar. (İş seyahatleri, satın alma ve atık gibi)

Türkiye'de üretilen sıvı çelik, cevherden üretim yapan Yüksek Fırın - Bazık Oksijen Fırını (BOF) entegre demir-çelik tesislerinde ve hurdadan üretim yapan Elektrik Ark Fırını (EAF) (İndüksiyon Fırını dahil) tesislerde

gerçekleştirilmektedir. Çelik üretiminin EAF ile gerçekleşmesi durumunda, atmosfere atılan sera gazı miktarı, diğer çelik üretim tekniklerine göre yaklaşık %80 daha azdır. Ülkemizde, 2022 yılı itibarıyla, demir cevherinden üretim yapan 3 adet YF - BOF tesisi ile hurdadan üretim yapan 37 adet İF ve EAF tesis bulunmaktadır [9].

1 ton ham çelik üretimi için açığa çıkan ortalama 1,85 Ton CO<sub>2</sub> civarındadır. 2020'de AB'ye ihraç edilen 5,8 milyon Ton çelik için 55,38 € fiyatı baz alındığında karbon salınım maliyeti 594 milyon € olmaktadır [10].

## 3. Çelik Üretim Yöntemleri ve Yeşil Çelik Teknolojileri



Şekil 1. Çelik üretim rotası

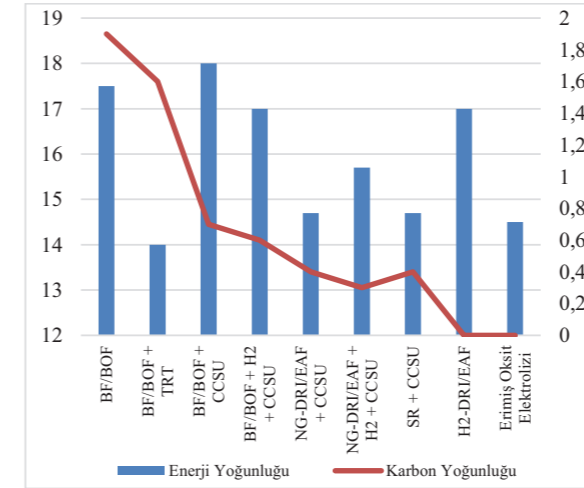
*Geleneksel yöntem:* Sinter ve pelet tesislerinden gelen cevher ile kok fırınından gelen metalürjik kok, yüksek fırında sıvı ham demir (soğutulması ile pik demir) üretilmesi ve sonrasında BOF'da (Konverter) sıvı çelik elde edilmektedir.

*Seçenek 1:* Pelet cevher ve parça demir cevheri direkt indirgenme şaft fırınında indirgeyici ile beraber (doğalgaz, hidrojen veya kok gazı) HBI (Sıcak briketlenmiş demir) ya da HDRI-CDRI (Doğrudan indirgenmiş sıcak-soğuk demir) kullanılarak EAF'de (Elektrik ark ocağı) sıvı çelik elde edilmektedir.

*Seçenek 2:* Pelet cevher ve parça demir cevheri direkt indirgenme şaft fırınında indirgeyici ile beraber (doğalgaz, hidrojen veya kok gazı) HBI (Sıcak briketlenmiş demir) ya da DRI-CDRI (Doğrudan indirgenmiş sıcak-soğuk demir) olarak elektrik ark ocaklarında hurda ile karıştırılıp sıvı çelik elde edilmektedir.

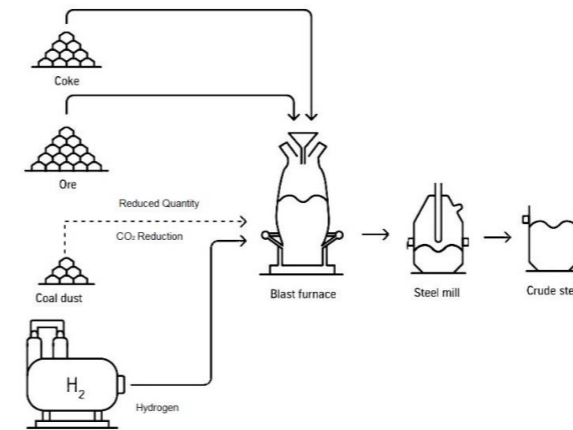
*Seçenek 3:* Hurda metal, elektrik ark ocağında geri dönüştürülerek sıvı çelik elde edilmektedir.

Yöntemler arasında geçişler olabilmektedir. Bu ana rotalar dışında geliştirilmiş başka yöntemler ile de çelik üretimleri yapılmaktadır.



Çizelge 1. Çelik üretim rotasına göre enerji yoğunluğu ve CO<sub>2</sub> emisyonları [11]

### 3.1 Yüksek Fırınlara Hidrojen Enjeksiyonu



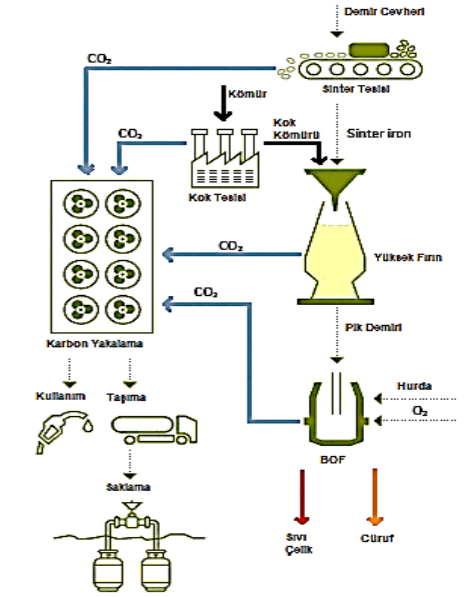
Şekil 2. Yüksek fırına hidrojen enjeksiyonu

İklim dostu çelik üretimine giden yolda yüksek fırınlar hidrojen kullanımı endüstriyel denemelerine başlamıştır. Ana fikir, H<sub>2</sub> enjeksiyonu ile karbon girdi miktarını azaltarak CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktır. Thyssenkrupp, 2,7 milyon € bütçeye sahip projede, 4.600 Ton/gün üretim için 25.000 Nm<sup>3</sup>/h hidrojen enjeksiyonu gerçekleştirmiştir. Bir ton sıvı ham demir için 11,7 kg (131 m<sup>3</sup>) hidrojen enjekte edilerek CO<sub>2</sub> salınımı % 19 oranında azaltılması hedeflenmiştir [12].

### 3.2 Karbonun Yakalanması, Kullanılması ve Saklanması

Demir ve çelik üretim süreçlerindeki yüksek emisyonlu işlemlerde CO<sub>2</sub> yakalanır. Bunlar, bir boru hattı yoluyla ya da gemiyle bir depolama yerine taşınır. Yakıt olarak da değerlendirilebilir. İşlemler, yanma sonrası/öncesi yakalama ve sıkıştırma-taşıma-depolama/kullanımı olarak sınıflandırılabilir [13].

Thyssenkrupp tarafından desteklenen Carbon2Chem Projesi, sentetik yakıt üretmek için CO<sub>2</sub> gibi emisyonların işlenmesinde pilot uygulamadır.

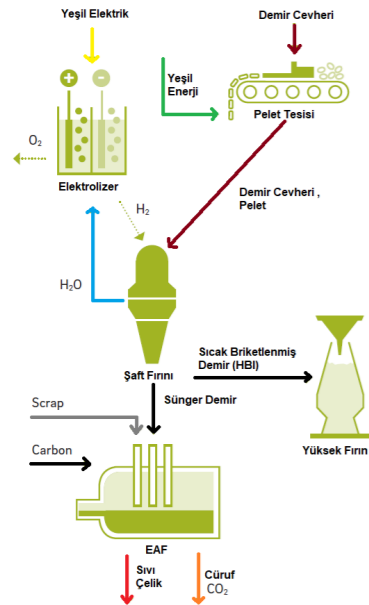


Şekil 3. Demir-Çelik Üretiminde Karbon Yakalama Sistemi Görünümü

### 3.3 H<sub>2</sub> Temelli Demir Üretimi – Şaft Fırını

Yeşil enerji kullanılarak elektroliz yolu ile üretilen hidrojen gazı (H<sub>2</sub>) ve pelet DRI (sünger demir) üretimi için şaft fırınına beslenmektedir. DRI, çelik üretimi için hurda ile ark ocağına beslenmektedir. DRI, HBI (Sıcak Briketlenmiş Demir) formunda yüksek fırına da beslenebilir. Bu, yüksek fırın verimliliğini önemli ölçüde artırmakta ve kok kullanımını azaltmaktadır [13].

Tenova, Salzgitter ve Paul Wurth dâhil olmak üzere birçok firmayı kapsayan ve AB tarafından finanse edilen GrInHy 2.0 Projesi, MIDREX ve HYL'de kullanım için dünyanın en büyük H<sub>2</sub> üreten buhar elektrolizörünü geliştirmeyi amaçlamaktadır.

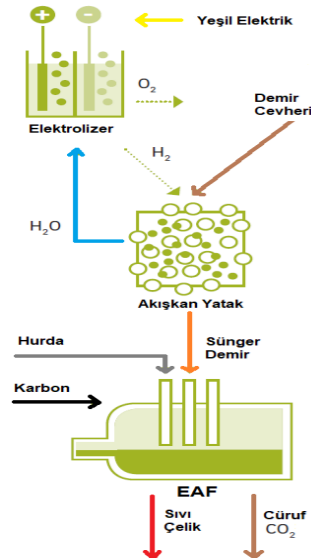


Şekil 4. Hidrojen temelli şaft fırını demir üretimi

### 3.4 H<sub>2</sub> temelli Demir Üretimi – Akışkan Yatak

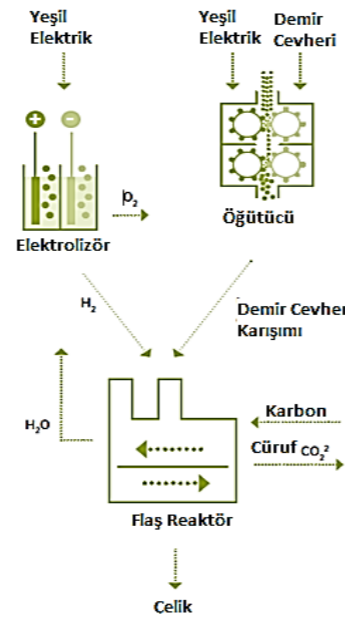
Şaft fırını tipi üretimde olduğu gibi, bu yöntem de demir cevherini azaltmak için hidrojen kullanır. Aradaki fark, indirgenenin fırın yerine akışkan yatakta gerçekleşmesi ve peletler yerine demir cevheri kullanılmasıdır [13].

Yeşil enerji kullanılarak elektrolizör vasıtası ile üretilen hidrojen gazı (H<sub>2</sub>) ve demir cevheri akışkan yataklı reaktöre eklenmektedir. Bu reaktörde üretilen sünger demir, ark ocağına hurda girdisi ile beraber beslenerek sıvı çelik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 5. Akışkan yataklı H<sub>2</sub> temelli hidrojen üretimi

### 3.5 Flash Reaktör ile Çelik Üretim Prosesi

Yeşil enerji kullanılarak elektrolizörde üretilen hidrojen gazı (H<sub>2</sub>) ve yeşil elektrik ile çalışan öğütücüde düşük demir tenörüne sahip cevherin öğütülmesi ile elde edilen ince taneçikli konsantre demir cevheri flaş reaktöre beslenerek çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Konsantre demir cevheri ayrıca flaş reaktöre eklenmeden, ayrı bir reaktörde daha düşük bir sıcaklıkta önceden indirgenmektedir. Demir cevherinin tek bir reaktörde doğrudan çeliğe indirgenmesi, demir üretimi, sinterleme veya peletleme ihtiyacını ortadan kaldırarak önemli maliyet ve emisyon faydalarına sahiptir. Ayrıca yüksek sıcaklıklar ve hızlı reaksiyon süreleri daha az safsızlık sağladığından daha temiz çelik üretilmektedir [13].

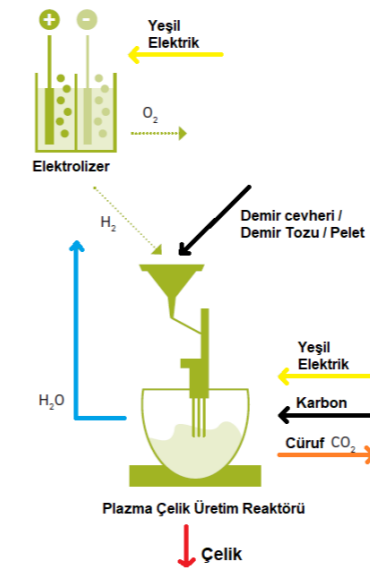


Şekil 6. Flaş reaktörlü çelik üretimi

### 3.6 Plazma Çelik Üretim Prosesi

Plazma çelik üretim reaktöründe demir cevheri, yeşil enerji kullanılarak elektrolizörde üretilen hidrojen gazı (H<sub>2</sub>) kullanılarak indirgenmektedir. Aynı zamanda, çelik üretimi esnasında reaktördeki karbon oranını artıracak malzemeler de eklenmektedir. İşlemden, termal plazma (doğrudan H<sub>2</sub>'nin ısıtılmasıyla üretilir) veya termal olmayan plazma (doğru akım veya mikrodalgaların H<sub>2</sub>'den geçirilmesi ile üretilir) kullanılmaktadır [13].

Voestalpine, Sürdürülebilir Çelik (SuSteel) projesinin bir parçası olarak, Donawitz sahasında küçük bir pilot hidrojen plazma indirgenme reaktörü kurmuştur.

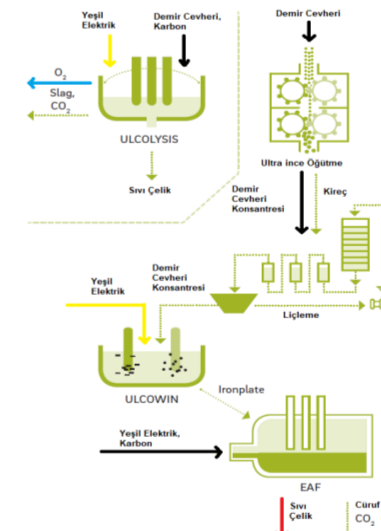


Şekil 7. Plazma ile Çelik Üretim Süreci

### 3.7 Elektrolitik Proses

İki tip elektrolitik proses vardır. Bunlar;

- ULCOLYSIS: İndirgeyici olarak elektriği kullanarak yaklaşık 1.550°C'de demir cevherini sıvı çeliğe dönüştürmektedir.
- ULCOWIN: Demir cevheri ultra ince bir konsantre halinde öğütülmekte, süzülme ve sonrasında bir elektrolizörde yaklaşık 110°C'de indirgenmektedir. Elde edilen demir plakalar EAF'ye beslenmekte ve çelik üretimi gerçekleştirilmektedir [13].

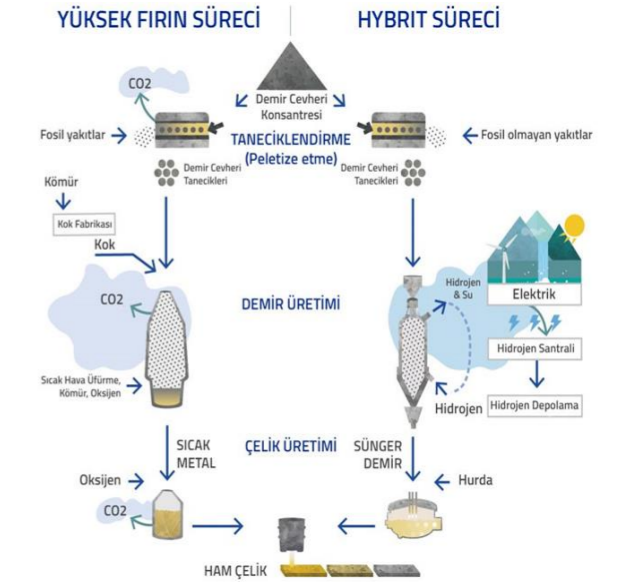


Şekil 8. Elektroliz süreci gösterimi

### 3.8 HYBRIT

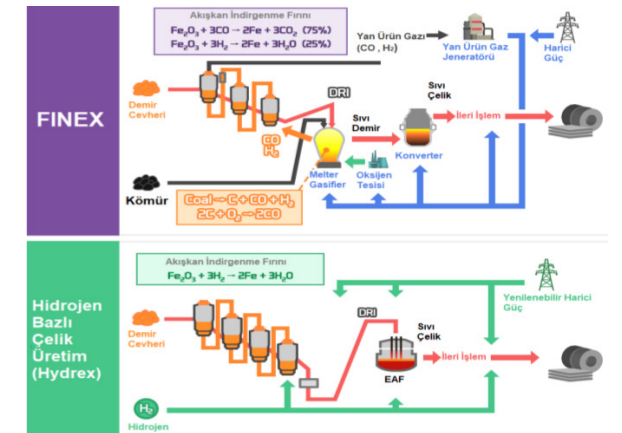
SSAB, LKAB ve Vattenfall, fosil yakıt içermeyen çelik üretimi için bir teknoloji geliştirmek amacıyla 2016 yılından bu yana HYBRIT sistemi üzerine çalışmaktadır.

Ağustos 2021'de pilot HYBRIT tesisinden %100 yeşil çelik ilk ürün alınmıştır. Endüstriyel kapasitede üretimi ise 2026 yılında gerçekleşmesi öngörülmektedir. 2045 yılında tamamen yeşil enerjiye dönüşüm hedeflenmektedir [14].



Şekil 9. HYBRIT ve yüksek fırın-konverter metodu karşılaştırmalı gösterimi

### 3.9 FINEX – HYREX

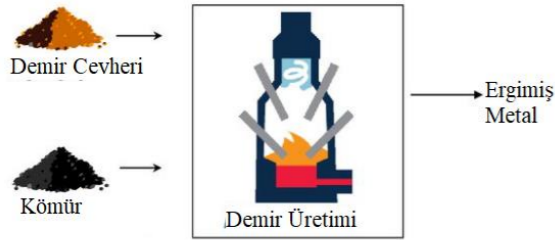


Şekil 10. POSCO'daki FINEX sistemi ve geliştirilmiş HYREX yöntemi

Çelik üretimi için POSCO'da kullanılan FINEX sisteminde, demir cevheri ve kömür, akışkan indirgeme fırınlarında ve eritici gazlaştırıcıdan geçirilerek sıvı ham demire dönüştürülmektedir. Hidrojen bazlı çelik üretimi bu teknoloji temel alınarak gerçekleştirilmektedir. FINEX, indirgeyici olarak proses sırasında üretilen %25 hidrojen ve %75 karbon monoksit kullanırken, HYREX hidrojen bazlı çelik üretiminde %100 hidrojen kullanılmaktadır. HYREX hidrojen bazlı çelik üretiminde akışkan indirgeme fırınında üretilen DRI, bir elektrik ark ocağına yönlendirilmektedir [15].

### 3.10 HISarna

HISarna, enjekte edilen demir cevherinin hemen erimesi ve sıvı metale dönüştürülmesi için demirin erime noktasının üzerinde bir sıcaklığı koruyan bir reaktörden oluşmaktadır. Eritme kabındaki proses gazlarının çok yüksek sıcaklığı, mevcut karbon monoksit ile reaksiyona giren saf oksijenin eklenmesiyle reaktörün tepesindeki siklonda daha da artırmaktadır. Siklondaki türbülans, sıcak gazın kazanın üst kısmına enjekte edilen demir cevherini eritmesine yardımcı olmaktadır. Demir cevheri daha sonra, toz halindeki kömürün enjekte edildiği kabin dibine damlar ve demir cevherindeki oksijenin karbona bağlanmasına neden olarak sıvı metal oluşturmaktadır [16].



Şekil 11. HISarna yönteminin gösterimi

- CO<sub>2</sub> emisyonlarını en az %20 azaltır.
- Enerji tüketimini en az %20 azaltır.
- Azot, kükürt oksit ve azot oksit emisyonlarını azaltır.
- Çelik üretiminin işletme maliyetlerini düşürür.

### 4. Sonuç

Sera gazı emisyonu, küresel ısınma ve iklim değişikliği konuları özellikle 1990'lı yıllardan itibaren küresel bir gündem maddesi haline gelmiştir. Bu sorunlarla mücadele kapsamında; 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, 2015 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması, Kasım 2019'da yayımladığı Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi bölgesel veya uluslararası düzeyde çalışmalar yürütülmektedir.

Ekim 2021'de Paris Anlaşmasının onaylanmasının uygun görülmesi üzerine ülkemizde de bu kapsamda yürütülecek çalışmaların yol haritaları ve kronolojisi üzerine çalışmalar başlamıştır.

Yeşil Mutabakat; temiz, döngüsel bir ekonomiye geçerek kaynakların verimli kullanımını artırmayı, biyolojik çeşitliliği eski haline getirmeyi ve kirliliği azaltmayı öngörmektedir. Bu kapsamda karbon emisyonlarının sıfırlanması, enerji sektörünün karbondan arındırılması (yenilenebilir enerji – yeşil enerji kullanımı), çevre dostu teknolojilere yatırım yapılması, üretimde inovasyonun teşvik edilmesi, kaynak kullanımına bağlılığının sona ermesi hedeflenmektedir.

Türkiye'nin sürdürülebilir ve kaynak etkin bir ekonomiye geçişine katkı sağlanmasını ve Türkiye'nin başta Avrupa Yeşil Mutabakatı ile öngörülen kapsamlı değişikliklere, AB'ye uyum sağlayacak şekilde çalışmalar yürütülmektedir:

- Sınırdaki karbon düzenlemeleri,
- Yeşil ve döngüsel bir ekonomi,
- Yeşil finansman,
- Temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı,
- Sürdürülebilir tarım,
- Sürdürülebilir akıllı ulaşım,
- İklim değişikliği ile mücadele,
- Avrupa Yeşil Mutabakatı hakkında bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri.

Başlıkları altında belirlenen hedeflere ulaşılması amacıyla hayata geçirilecek eylemlere yönelik Yeşil Mutabakat Eylem Planı yayınlanmış ve çalıştaylar ile ilgili sektörlerin sürece ilişkin görüşleri alınmaya başlanmıştır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca Şubat 2022 yılında düzenlenen İklim Şurası, kamu kurumları, yerel yönetimler, üniversiteler, iş dünyası, uluslararası kuruluşlar, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımı ile gerçekleştirilmiştir. İklim Şurası'nda "yeşil kalkınma" ve "2053 net sıfır emisyon" hedeflerine ve ulusal katkı beyanının düzenlenmesine ilişkin bilimsel müzakereler yürütülmüştür. Sanayide sürdürülebilir üretim ve tüketim sistemlerinin, alternatif emisyon azaltım yöntemlerinin uygulanması için bir kılavuzun hazırlanması öngörülmektedir [17].

Karbon nötr, yeşil, çevre dostu ve sürdürülebilir bir şekilde demir-çelik üretiminin gerçekleşmesi hususunda pek çok firmanın çalışmaları devam etmektedir. Bunlar; Yüksek fırınlara hidrojen enjeksiyonu, karbon yakalama kullanma ve/veya saklama, biyokütle ile karbon yakalama kullanma ve/veya saklama, hidrojenle doğrudan indirgenmiş demir – şaft fırını, hidrojenle doğrudan indirgenmiş demir – akışkan yatak, süspansiyon demir üretim teknolojisi, doğrudan plazma demir çelik üretimi, elektrolitik indirgeme, HYBRIT, HISarna, HYREX vb. uygulamalardır. Bu gibi

uygulamalardan teknolojik olgunlaşma seviyesi en yüksek olan DRI-Şaft fırınıdır. Karbon yakalama ve depolama sistemleri, emisyonlarını azaltmasına rağmen, uygun depolama alanı bulunmasını gerektirmektedir.

### Referanslar

- [1] <iklim.csb.gov.tr> Tarih:2021
- [2] <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587> Tarih:2021
- [3] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/07/20210716-8.pdf> Tarih: 07.2021
- [4] <https://ticaret.gov.tr/haberler/yesil-mutabakat-eylem-planı-yayimlandi> Tarih: 16.07.2021
- [5] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211007M1-1.pdf> Tarih: 07.10.2021
- [6] <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\_en#policy-areas >Tarih 12.10.2019
- [7] <http://celik.org.tr/> Tarih: 2021
- [8] https://www.compareyourfootprint.com/difference-scope-1-2-3-emissions/ Tarih: 17.02.2022
- [9] <https://celik.org.tr/harita/> Tarih: 15.03.2022
- [10] Sefer UÇAK, Bilge VİLLİ, Uygulamalı Ekonomi ve Sosyal Bilimler Dergisi (2021) 94-113
- [11] EPRS | European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA),– (2021) PE 690.008.
- [12] <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/newsroom/press-releases/hydrogen-instead-of-coal.html> Tarih: 16.04.2019
- [13] Berger, R. The future of steelmaking – How the European steel industry can achieve carbon neutrality, (2020).
- [14] <https://www.ssab.com.tr/haberler/2021/03/ssabs-annual-report-2020-published> Tarih: 03.2021
- [15] Exploring Hydrogen with POSCO #3 The Future of Steel Hydrogen-based Steelmaking, (2021).
- [16] <https://www.tatasteeleurope.com/sites/default/files/T%20Factsheet%20Hisarna%20ENG%20jan2020%20Vfinal03%204%20pag%20digital.pdf> Tarih: 02.2020
- [17] <https://csb.gov.tr/cevre-sehircilik-ve-iklim-degisikligi-bakani-kurum-iklim-surasi-kapanisinda-konustu-bakanlik-faaliyetleri-32054>Tarih: 09.03.2022

## Elektrik Ark Ocaklı Tesislerde Karbondioksit Emisyonları ve Azaltılmasına Yönelik Tedbirler

### Carbon Dioxide Emissions in Electric Arc Furnace Plants and Measures for Emission Reduction



M. Fatih GÖKÇE, Barış YEŞİLYURT, Zirve IŞIK, Sinan DEMİR

Diler Demir Çelik - Türkiye

#### Abstract

In this study, how and where the direct and indirect emissions that occur during steel billet production in Electric Arc Furnace (EAF) facilities are examined. The relationship of carbon dioxide emissions with raw material and operating efficiency in the steel production process has been revealed.

#### Özet

Bu çalışmada, Elektrik Ark Ocaklı (EAO) tesislerde çelik kütük üretimi esnasında doğrudan ve dolaylı emisyonların nasıl ve nerede ortaya çıktığı irdelenmiştir. Karbondioksit emisyonlarının çelik üretim sürecinde hammadde ve işletme verimliliği ile ilgisi ortaya konulmuştur.

#### 1. Giriş

Ülkemizin Paris Anlaşması'nı imzalaması sonrası açıkladığı yeşil mutabakat, öncelikli olarak enerji, çelik ve alüminyum üretimi gibi enerji yoğun sektörlerin yaydığı emisyonların kontrol altına alınıp azaltılmasını hedeflemektedir. Yeşil mutabakat kapsamındaki emisyon ticaret sistemi uygulaması, EAO'lu tesislerin de mevcut emisyonlarını doğru ve hassas bir şekilde tespit edip, azaltımı yönünde stratejiler geliştirmelerini gerektirmektedir. Ayrıca, önümüzdeki yıllarda AB tarafından uygulamaya konulacak olan Sınırdan Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) ve benzeri uygulamalar, emisyon ölçüm ve kontrolünün daha hassas ve dikkatli yapılmasını gerektirmektedir.

Dünya üzerinde salınan karbondioksit emisyonlarının yaklaşık % 9'u çelik üretimi kaynaklı olup, bunun yaklaşık %60'ı cevher esaslı üretimden kaynaklanmaktadır. Ülkemizde ise cevherden demir çelik üretimi oranı yaklaşık %35'dir[1]. Hurda esaslı çelik üretiminde ton çelik başına oluşan karbondioksit emisyonu cevher esaslı üretime göre yaklaşık 6 kat daha azdır. Hurdadan üretilen her bir ton çeliğe karşılık yaklaşık 1400 kg demir cevheri ve 750 kg kok ile birlikte, 120 kg kireç taşı kullanımından tasarruf edilmektedir. Dolayısıyla EAO ile çelik üretiminin karbon salınımının azaltılmasına etkisi çok büyüktür.

EAO ile çelik üreten tesislerde karbondioksit emisyonları doğrudan (Kapsam 1) ve dolaylı (Kapsam 2) olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Doğrudan ve dolaylı emisyonların toplam emisyon içerisinde payları sırasıyla yaklaşık % 45 ve % 55 şeklinde gerçekleşmektedir. Doğrudan emisyonlar karbon içerikli yakıtların ve hammaddenin oksijen ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Dolaylı emisyonlar ise, elektrik üretimi aşamasında ortaya çıkmakta olup ve üretilen çelik için kullanılan elektrik üzerinden, gömülü emisyon olarak, hesap edilmektedir. Demir çelik üretiminde emisyon enerji tasarrufu ile nihai üründeki gömülü emisyon miktarı azaltılabilir. Emisyon miktarları, süreçte kullanılan hammaddelerin yanı sıra sürecin teknik seviyesi ve etkinliği ile ciddi şekilde artıp azalabilmektedir. Mevcut süreçlerin etkinliğinin artırılması ile doğrudan ve dolaylı emisyonların kıyas değerlerinin bile altına çekilebilmesi mümkündür. Bu çalışmanın amacı, mevcut emisyonları esas alarak, mevcut teknik imkanlar dahilinde EAO'lu tesislerde emisyon azaltma imkanlarını incelemektir.

#### 2. Elektrik Ark Ocaklı Tesislerde Karbon Emisyon Kaynakları

EAO'lu tesislerde karbondioksit emisyonları doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Doğrudan ve dolaylı emisyonlar başta EAO olmak üzere üretim sürecinin her aşamasında ortaya çıkmaktadır. EAO'lu tesislerde doğrudan emisyonlar üretim sürecindeki yanma reaksiyonları ve karbonun oksidasyon reaksiyonları sonucu ortaya çıkmaktadır. Tesis içindeki üretim süreçlerinde ortaya çıkan emisyonlar ve tipleri aşağıdaki Tablo 1 özetlenmiştir.

Tablo 1. Tesis birimlerinde çıkan emisyonlar ve tipleri

	Doğrudan Emisyonlar	Dolaylı emisyonlar
EAO	X	X
PO	X	X
CCM		X
Çelikhane Servis		X
Haddehane Tav Fırını	X	
Haddehane		X
Haddehane Servis		X
Yardımcı Tesisler		X

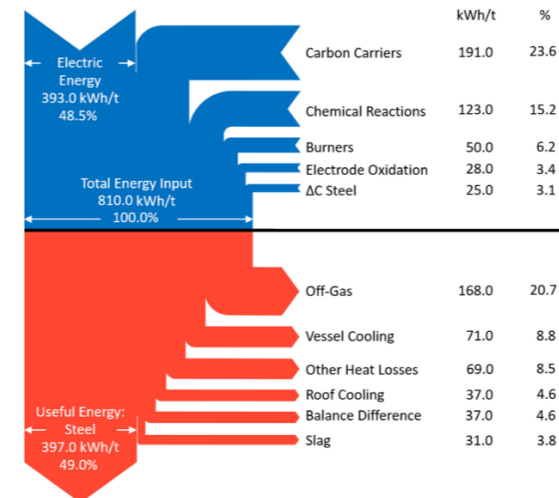
Tablo 2' de ise EAO'da üretilen çelik için doğrudan ve dolaylı emisyon kaynakları gösterilmiştir.

Tablo 2. EAO Doğrudan ve Dolaylı Emisyonları

Karbondioksit Emisyon Kaynakları
<i>Doğrudan Emisyonlar</i>
- Şarjdaki Net karbon $\rightarrow C_{hurda} + C_{pik} + C_{DRI/HBI} + C_{şarj}$
- Toz karbon $\rightarrow$ Köpüklü curuf, demir oksit indirgeme
- Brülör (Doğal Gaz/LPG)
- Diğer karbon kaynakları
<i>Dolaylı Emisyonlar</i>
- EAO-PO Elektrik enerjisi
- Toz toplama enerjisi
- Oksijen üretimi
- Hurda işleme
- Diğer servis ve hizmetler

EAO ile çelik üretiminde kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %33'ü karbon esaslı kimyasal enerjiden gelmekte olup, buna karşılık, kullanılan elektrik enerjisi toplam enerji girdisinin yaklaşık %48'ini oluşturmaktadır (Şekil 1). Dolayısıyla EAO üretiminde kullanılan elektrik enerjisi ile ortaya çıkan dolaylı emisyonlar, doğrudan emisyonlara göre daha ciddi miktarlarda oluşmaktadır. Ülkemiz elektrik üretimi için ortalama karbon salınımı olan 375g/kWh'tir [2]. Çelik üretiminde EAO'da kullanılan elektrik enerjisi 393 kWh/t olarak alındığında EAO'lu dolaylı emisyonlarının 147,5 kgCO<sub>2</sub>/t olarak gerçekleşecektir. EAO elektrik enerjisi tüketimi çelikhane enerji tüketimi içinde en büyük paya sahiptir. Enerji tüketiminde her 10 kWh/t'luk azalma 3,75 kgCO<sub>2</sub>/t emisyon azalmasına karşılık gelmektedir.

EAO üretimi kıyas değerleri göz önüne alındığında ise doğrudan emisyon değeri Hurdadan Kütüğe 58 kgCO<sub>2</sub>/t olarak gerçekleşmektedir [3].



Şekil 1. 100 t EOA Enerji Dengesi [4]

Ergitme sürecinde kullanılan elektrik enerjisi toplam enerji girdisinin % 48'ini oluştururken toplam emisyonların yaklaşık % 60'ını oluşturmaktadır.

Hurdadan kütüğe olan çelik üretim zincirinde, inşaat çeliği için enerji tüketimi EAO, PO, SDM ve diğer yardımcı tesisler göz önünde bulundurulduğunda, yaklaşık olarak 500 – 510 kWh/t'ç olup ortaya çıkan dolaylı emisyon miktarı ise yaklaşık olarak 190 kgCO<sub>2</sub>/t'ç olarak gerçekleşmektedir. Bu rakamlardan da anlaşılacağı üzere dolaylı emisyonların %75'den fazlası EAO ve PO tarafından salınmaktadır.

EAO ile çelik üretim sürecinde elektrik enerjisi tüketimi her ne kadar kullanılan hammadde tarafından da belirlense de, iyi bir süreç yönetimi sayesinde duruşların azaltılıp statik kayıpların önemli ölçüde önüne geçilebilmesi mümkündür. Tablo 3'de EAO'lu tesiste farklı süreçlerde gerçekleşen duruşlara ait enerji kayıpları verilmiştir.

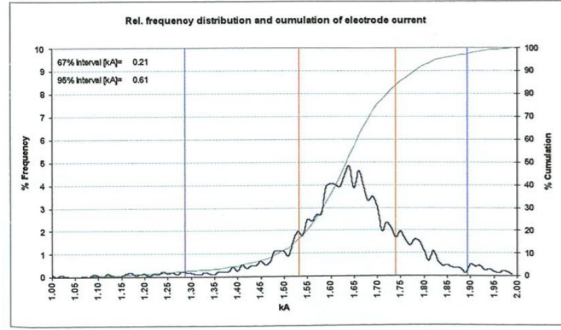
Tablo 3. EAO'lu tesiste bekleme esnasında oluşan enerji kayıpları [5]

	kWh/t/min
Ergitmede	0,4
İzabede	1,7
İki döküm arası bekleme < 30 min.	0,5
İki döküm arası bekleme < 30 min.	0,2

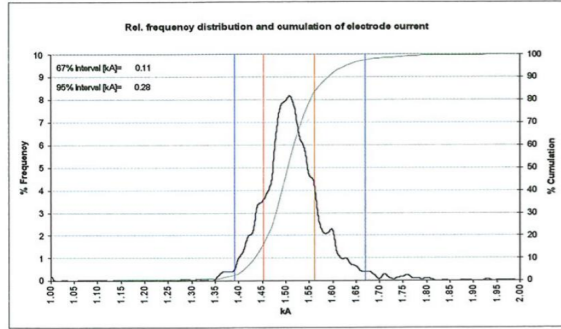
EAO'lu çelik üretimi sırasında gerçekleşen rutin duruşlar olan "şarj alma hazırlık" ve "döküm alma" süreçleri mümkün olduğunca kısa tutulup bu sırada oluşacak kayıpların önüne geçilebilmesi mümkündür. Yukarıdaki tabloya göre özellikle izabe sırasında oluşacak bir beklemenin getireceği kayıp en fazla olmaktadır. Bu sebeple, plansız duruşların önüne geçmek için iyi bir bakım ve çelikhane içi lojistik yönetimi gerekmektedir.[5]

Bekleme esnasında oluşan kayıpların yanı sıra çalışma sırasında da doğru ayarlanmamış elektrot regülasyon sistemi kaynaklı kayıplar oluşabilmektedir. Dolayısıyla Elektrik güç girdisinin etkinliği günlük izlenip, hurda niteliğindeki değişkenliklere göre elektrot regülasyon sistemi hızlıca ayarlanmalıdır.

Şekil 2 ve 3 kıyaslandığında regülasyon sisteminin optimize edilmesi halinde elektrot akımlarının, dolayısıyla güç girdisinin, daha dar bir aralıkta sapma gösterdiği anlaşılmaktadır.

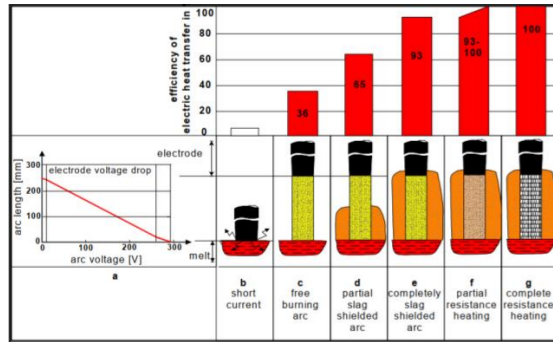


Şekil 2. Optimize edilmemiş regülasyon sistem performansı [5].



Şekil 3. Optimize edilmiş regülasyon sistem performansı [5].

Elektrik enerjisi tüketimine etki eden bir diğer önemli süreç parametresi ise "köpüklü cüruf" pratiğidir. Özellikle izabe safhasında köpüklü cürufun enerji girdisine katkısı büyüktür. Aşağıdaki şekilde köpüklü cüruf ve elektrik güç girdisi arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4. EAO'da köpüklü cüruf uygulamasının elektrik enerjisi transferine etkisi [6]

## 2.1. EAO Doğrudan Karbondioksit Emisyonları

EAO ile çelik üretim sürecinde ortaya çıkan doğrudan karbondioksit emisyonları Tablo 4'de gösterilmiştir. Tabloda verilen değerler benchmark bir tesis için verilmiş olup, anonimleştirilmiştir. edilmiştir. Bu tabloda da görüldüğü üzere, EAO sürecinde doğrudan karbondioksit salınımı, doğalgaz ve antrasit üzerinden gerçekleşmekte olup, toplam salınım girdisinin yaklaşık %58'i antrasit kaynaklıdır. Bunu, % 15 ile kullanılan doğal gaz takip etmektedir.

Tablo 4. 100 t kapasiteli EAO'lı tesiste CO<sub>2</sub> emisyon dengesi

Girdiler		
<b>Malzeme</b>	CO <sub>2</sub> (kg/t çelik)	CO <sub>2</sub> /TCO <sub>2</sub> (%)
<b>Doğalgaz</b>	10,4	15,35%
<b>Hurda</b>	6,2	9,10%
FeSi	0,004	0,01%
FeSiMn	0,88	1,31%
<b>Şarj Antrasit</b>	17,8	26,37%
<b>Toz Karbon</b>	21,0	31,06%
Kireç	0,5	0,67%
PO Karbon	4,0	5,93%
<b>EAO+ PO Elektrot</b>	6,9	10,21%
<b>Toplam</b>	68	
<b>Çıktılar</b>		
<b>Kütük</b>	5,1	76,10%
Curuf	0,8	11,18%
Baca Tozu	0,5	7,06%
Elektrot	0,2	2,98%
Çıkan Refrakter	0,2	2,68%
<b>Toplam</b>	7	1
<b>CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/ t çelik)</b>	61	

### Karbon oksidasyonu:

EAO'da doğrudan emisyonlar ocağa şarj yolu ile giren hurda içerisindeki karbon başta olmak üzere, şarja verilen parça karbon ve köpüklü cüruf için kullanılan karbonun ve grafit elektrotların oksidasyonu sonucu gerçekleşir. Doğrudan emisyonların ikinci büyük kaynağı ise, günümüz modern ocaklarının vazgeçilmez destek ekipmanı olan brülörlerde tüketilen doğal gaz/lpg'nin yanması sonucu ortaya çıkmaktadır.

EAO ile ergitmede karbon sürecin vazgeçilmez bir parçası olup, prosesin başından sonuna kritik görevleri yerine getirmektedir. Karbon hem bir enerji taşıyıcı hem de süreci aktif olarak kontrol eden element olarak görülmelidir. Karbon, sıvı çelik içerisinde oksijen ile reaksiyona girerek CO'e oksitlenir. Oksidasyon sonucu oluşan CO gazı, sıvı çelik içerisinden yükselerek ocak atmosferine karışır ve

CO<sub>2</sub>'e yükseltgenir. Sıvı çelik içerisinde yükseldiği sırada hem sıvı banyoyu karıştırıp homojenize eder, hem de banyo içerisinde çözülmüş olan başta azot olmak üzere istenmeyen gazları bünyesine alarak süpürür. Oksidasyon sürecinde karbon ile birlikte bir miktar demir de oksitlenip curuf fazına FeO formunda geçmektedir. Curuf fazına geçen demir, toz karbon kullanılarak curuftan tekrar çeliğe alınır. Karbonun tüm bu fonksiyonları göz önünde bulundurulduğunda EAO'da çelik üretim sürecindeki gerekliliği ortadadır. Ancak karbon emisyonlarının azaltılması için üretim sürecinde kullanılan karbonun verimliliğinin ve kullanım sırasında oluşan kayıpların azaltılması ve dikkatle kontrolü gerekmektedir.

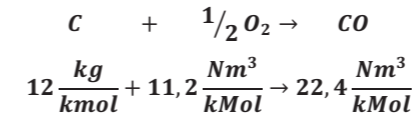
Karbon kaynakları aşağıda belirtilen girdilerden oluşmaktadır.

- Hurda
- Kimyasal analizde bulunan karbon
- Organiklerde bağlı bulunana karbon (Plastik boya, yağ, vs.)
- Parça Karbon sepet içinde
- Toz Karbon
- Elektrot

EAO sürecinde kullanılacak karbon miktarı, süreçte kullanılacak oksijen miktarına göre belirlenmekte olup aşağıdaki gösterilen reaksiyona göre dengelenmelidir.

Karbon un oksijenle girdiği reaksiyona göre süreçte kullanılan karbon ve oksijen miktarı arasında ağırlıkça yaklaşık 1:1 oranı sağlanmalıdır.

Bu hesap için kullanılacak oksijen miktarı veya karbon miktarı baz alınabilir. Ampirik olarak "Metalurjik Oksijen" in proseste en verimli kullanıldığı değer 21 Nm<sup>3</sup>/t olup, karbon değerinin bu değer esas alınıp belirlenmesi ile karbon tüketimi ve emisyonları sınırlanabilir. Bu değer üzerinde oksijen tüketiminin karbon ile dengelenmemesi halinde verim kaybı olacaktır. Aksi durumda fazla karbon tüketiminden kaynaklanan ilave karbondioksit emisyonu oluşacaktır.



Hurda içerisinde bulunan karbon hesabı yapılırken hurdanın ağırlığının esas alınması, dolayısı ile hurdanın verimi de önemli hale gelmektedir. Hurda verimindeki herhangi bir düşüş fazla hurda kullanımı sonucuna sebep olacağından, hesaplanacak karbon girdisi de bu ölçüde fazla olacaktır. İleride yapılacak maliyet hesaplarında ilave oluşacak emisyon yükünün de gözönünde bulundurulması gerekecektir. Buna ilaveten azalan hurda verimi enerji tüketimini de artıracığından, emisyonlar da artıracaktır. Basit bir hesap ile her % 1 lik verim azalması yaklaşık

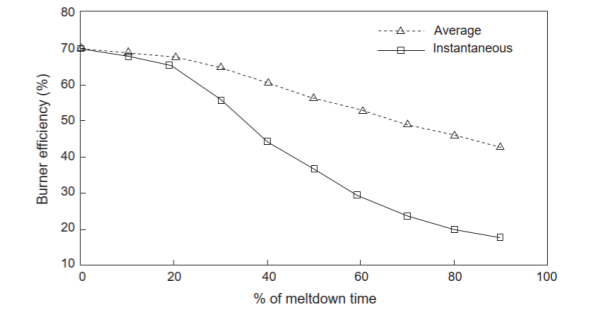
olarak 10 kWh/t tüketime karşılık gelip, yaklaşık 3,75 kgCO<sub>2</sub>/t emisyon demektir.

### Doğal gaz yanma sonucu ortaya çıkan karbondioksit:

Günümüz ark ocaklarının ayrılmaz bir parçası olan brülörler doğal gaz ve oksijen kullanmakta olup, kullanılan yakıt türüne bağlı olarak her bir m<sup>3</sup>/t yakıt için yaklaşık 2,06 kgCO<sub>2</sub>/t karbon emisyonu oluşturmaktadır. Emisyon miktarı kullanılan doğal gazın karbon içeriğiyle değişebilmektedir.

EAO brülörlerinin ocak operasyonu ve şarj edilen hurdanın kalitesi de göz önünde bulundurulması, hem verimsiz brülör kullanımının önüne geçecek, hem de verimsiz kullanım dolayısıyla oluşacak emisyonların önüne geçecektir.

EAO brülörlerinin verimliliği hurda sıcaklığı arttıkça düşmektedir. Başlangıçta % 80'ler üzerinde olan ısı transfer oranı, artan hurda sıcaklığı ile birlikte % 30'lar seviyesine kadar düşebilmektedir. Toplam brülör verimliliği ise % 60 civarında kalmaktadır. Şekil 6'da gösterilen etkinlik eğrisi incelendiğinde bir sepet şarjın ergitme süresi boyunca en yüksek brülör verimliliği, ergime süresinin ilk üçte ikilik kısmında gerçekleşmektedir. Düşük verim ise ton çelik başına düşen kgCO<sub>2</sub> emisyonlarının artırmaktadır [7].



Şekil 5. Ergitme boyunca EAO'da Brülör verimi [8].

Brülör etkinliğini belirleyen bir diğer önemli kriter ise ocağa alınan şarj sayısıdır. Artan şarj sayısı ile birlikte brülörün etkin olarak operasyonda kullanılma imkanı azalmaktadır. Şarj sayısı arttıkça her bir şarjda brülör operasyonu için süre azalacaktır. Bu azalma ile verimli bir brülör işletme imkanı da azalacaktır.

Ocağa alınan şarj sayısı da ocağın elektrik enerjisi tüketimini doğrudan etkilemekte olup 100 t luk bir ocakta iki dakikalık şarj alma süresi boyunca radyasyon yolu ile oluşacak kayıp miktarı da yaklaşık 10-15 kWh/t' tir. Bunun karşılığında ise 4,5 -6 kgCO<sub>2</sub>/t ilave emisyon dolaylı olarak ortaya çıkmaktadır.

Brülör etkinliği süreç ve değişen hurda kompozisyonunun sıkı takibi ile optimize edilebilmesi mümkündür. Kullanılan

hurdanın kalitesine göre brülör süresi optimize edilmeli ve düşük termal verimli gölgedeki çalışmanın mümkün olduğunca kısa tutulması gerekir.

### 3. Sonuç

EAO'lu tesislerde çelik üretimi mevcut üretim teknolojileri içerisinde en düşük emisyon değerine sahip olmakla birlikte çelik üretim sürecinde yapılabilecek küçük iyileştirmeler ve verimlilik artırıcı çalışmalar ile referans değer olan 0,215 tCO<sub>2</sub>/t çelik değerine düşürülebilmesi mümkündür [9]. Bu değer 0,058 tCO<sub>2</sub>/t'ü ise doğrudan emisyonlar olup çelik üretiminde karbonun oynadığı rol dikkate alındığında çok daha fazla düşürme imkanı mevcut teknolojilerle mümkün değildir. Sonuç olarak EAO'lu tesislerde kullanılan elektriğin tamamen yenilenebilir kaynaklardan kullanılması halinde ulaşılabilecek doğrudan ve dolaylı emisyon değeri toplam 58 kg CO<sub>2</sub>/t çelik olarak hesaplanabilmektedir.

### Referanslar

- [1] <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Steel-Statistical-Yearbook-2020-concise-version.pdf>
- [2] <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/10/CT2021Turkey.pdf>
- [3] Developing Benchmarking Criteria for CO<sub>2</sub> Emissions Ecofys Project Number: PECSGB073248. 2009. (Neelis, M.; Worrell, E.; Mueller, N.; Angelini, T.; Cremer, C.; Schleich, J.; Eichhammer, W.)
- [4] Energy balance of a 100 t EAF. T. Meier, Ph.D. Thesis, RWTH Aachen University, 2016.
- [5] Improving the energy efficiency in the electric arc furnace Steeltimes International April 2009
- [6] Ameling, D. u. a.: Untersuchungen zur Schaumslagbildung im Elektrolichtbogenofen, Stahl u. Eisen, Vol. 106, 1986, pp. 625-630
- [7] "A New Concept for Using Oxy-Fuel Burners and Oxygen Lances to Optimize Electric Arc Furnace Operation H. Adolph et al.," Iron & Steelmaker 16:2 (1989): 29-33.)
- [8] K. Bergman and R. Gottardi, "Design Criteria for the Modern UHP Electric Arc Furnace With Auxiliaries," Ironmaking and Steelmaking 17:4 (1990), 282-7
- [9] Benchmark value (allowances/t) for 2021- 2025 (COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/447 of 12 March 2021)

## Green Tundish Lining Technology



**Harald SILBERGASSER**

RHI Magnesita - Austria

### Abstract

More and more environmental regulations are adding to the already demanding focus topics like Health & Safety, Steel Quality and Productivity in a modern steel plant's daily routine.

The combination of Sol-bonded Safety-Lining and Self-Hardening Working-Lining has been identified as the state-of-the-art when it comes to the modern lining of a tundish for continuous casting. Increasing numbers of steel plants worldwide are using already this combination or are about to convert their current practice stepwise. These new Safety Lining and Working Lining materials differentiate themselves by their type of binder while sticking to the traditional Two-Layer-Tundish lining concept.

Applying this material combination, the total consumption of natural gas in the Tundish Preparation area could be reduced to zero.

### 1. Introduction

The tundish as a buffering vessel allows the operation of a continuous casting machine (CCM) as we know it today. While more than 90% of the global steel production is processed via this route, the tundish doesn't receive the attention it deserves. Located close to the end of the value generating process chain, the tundish is the last vessel where metallurgy can be done or even all the undertaken efforts to produce quality steel, meeting defined specifications can be spoiled within this vessel.

Easily forgotten is the fact, that the Tundish is in many steel plants the most frequent maintained and lined vessel. Depending on the steel quality and process parameters the sequence length can vary from 1 heat or 0,5 hour casting up to 100 hours and more e.g., reported from Russia or Near Middle East. These are for sure extrema which would lead to an extremely high or low demand of newly lined tundishes per year.

Worldwide the tundish refractory lining concept is set up as an insulation layer, a permanent lining (PL) and finally a working lining (WL). To ensure a safe operation, after each new lining application, the process water needs to be removed in an additional drying step at elevated temperature.

The number of linings and material needed to operate a CCM for one year can be calculated for each tundish setup individually and gives an idea how much energy or gas is needed each year to remove this process water.

In the following chapters, this paper describes the well-known material combination of COMPAC SOL for permanent- and ANKERTUN SH working-lining.

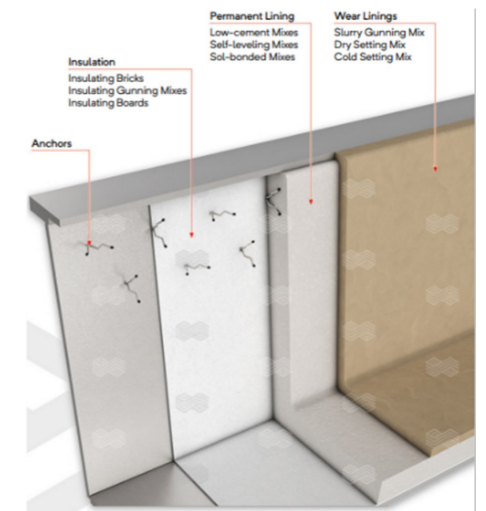
The combination of COMPAC SOL and ANKERTUN SH allows the reduction of energy demand to a minimum with the potential to ban the natural gas consumption from the tundish preparation area.

### 2. Tundish Lining Concept

The usual tundish lining concept consist of several different layers as shown in Figure 1.

The Anchors are welded onto the tundish shell and perforate the first of the layers. This insulating layer is about one centimeter thick and should protect the tundish shell in terms of overheating when casting longer sequences. This material is mostly a fibrous panel while also sprayable versions or insulating bricks are available.

The second layer is the long lasting monolithic Permanent-Lining (PL), a castable available with different binding methods. The third and most frequent lined layer is called Wear- or Working-Lining (WL). Most common practice here is the application as slurry gun mix. Although other technologies like sugar bonded dry setting mixes or the Cold Setting technology would be available. [1]



**Figure 1.** Layers of a typical setup of a Tundish Lining.



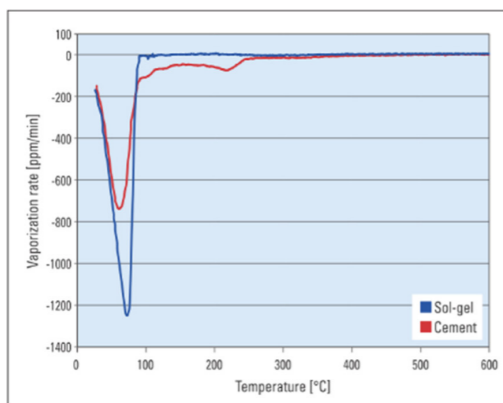
**3. Permanent Lining**

Acting as a "last defense" against a Tundish breakout, the Permanent Lining is often also called Safety Lining. Both names indicate already the main purposes of this refractory layer which stays in operation ideally for a long time. Sometimes years. Mostly in use are hydraulic bonded low cement castables on basis of Mulcoa or Bauxit. Using a template equipped with vibrators, these castable forms the monolithic permanent lining.

As a further step, the water, needed to process the mix must be removed in a time and energy consuming process. A standard low cement bonded mix contains about 6% of water which is chemical bonded and therefore a temperature of minimum 450°C needs to be applied to remove the water in terms of operational safety at the caster. Due the lining thickness of around 150 mm, the drying cycle often takes 60 hours and more.

Figure 2 illustrates the vaporization rate of a LC-castable (Low Cement) and a SOL-gel bonded mix. While the LC-castable reaches zero vaporization at 450°C, the SOL-bonded mix is already dried at 100°C. This offers a tremendous advantage in terms of vessel availability and gas demand as the drying time too is reduced from 60 to 20 hours. The reduction of temperature from 450°C to 100°C only can be considered a gift on top.

COMPAC SOL mixes enable their users to reduce the total amount of natural gas and therefore the overall CO<sub>2</sub> emissions. Using an alternative heat source e.g., infrared panels, could substitute natural gas completely. [1]



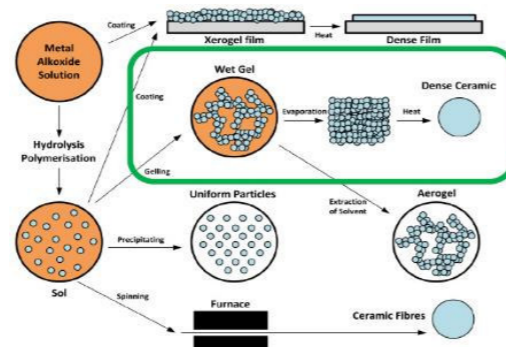
**Figure 2.** Evaporation rates of LC-castables versus SOL-bonded mixes [1]

The principle of the SOL-gel bonding is well known and the products are because of the advantageous preheating behaviour of this material mainly used in furnaces for Cement- and Non-ferrous industrie.

Nevertheless more and more steelproducers recognise this advantage and start to apply this COMPAC SOL technology in their Tundish, Tundish lid or even other applications like EAF roofs or reheating furnaces.

Available as a castable and also sprayable version, COMPAC SOL opens a wide range of possible applications.

Setting and hardening of the castable is obtained by a polycondensation reaction during gelling process of the colloidal silica sol (DIVASIL FP) the principle of the process is shown in Figure 3. [2]



**Figure 3.** Setting and hardening principle of the colloidal Silica sol [2]

**3.1. Application of COMPAC SOL**

Although the different binder system and material behaviour, the application process of the SOL-bonded mix COMPAC SOL doesn't differ that much from a LC-castable (see Figure 4 and 5). The mixing time for COMPAC SOL is just a bit shorter and the DIVASIL (SiO<sub>2</sub> SOL binder) substitutes the water.



**Figure 4.** Operating instruction for COMPAC SOL B82-6.



**Figure 5.** Operating instruction for DIDURIT B83-6.

**4. Wear Lining**

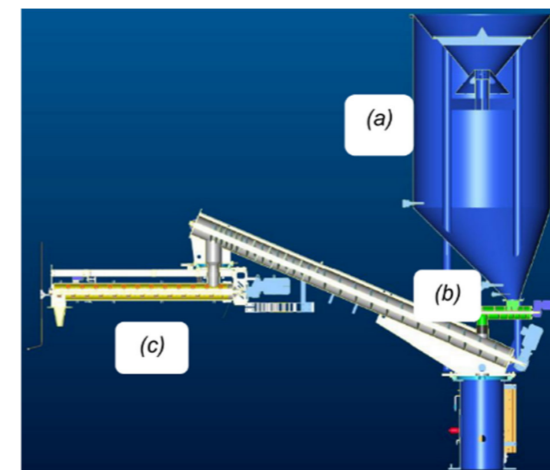
As already mentioned before, the wear lining is the most frequent renewed layer of the Tundish, if not in the whole steel plant. This means on the other hand side that there is a high frequency of cleaning, relining and drying steps, to remove the process water from the Slurry-gun lining, necessary.

A perfect partner for the before described COMPAC SOL can be the so-called CS-Technology (Cold Setting) acting as a working lining. Nowadays already in use at more than thirty steel plants worldwide our customers are already profiting from the benefits provided by this lining method.

By adding only 1,5% of water, a tundish can be prepared within 30 minutes to return to the caster for operation. Every curing, drying or hardening step needed, like for a Slurry-gun mix (addition of 25% water) or a sugar bonded Dry-Setting mix (Temperature >250°C needed), are obsolete.

The water addition starts the chemical reaction needed for hardening. Depending on the Tundish size and lining process, the reaction speed can be controlled and adjusted by the mixing energy, applied by the mixing shaft.

Figure 6 shows the layout of the semiautomatic ANKERTUN CS machine. The conveyor screw (b) is transporting and dosing the dry mix from the silo (a) into the mixing shaft (c), here the water is incorporated into the dry material. The material is further mixed and transported forward towards the control panel where it drops into the gap between Permanent Lining and template. [3]



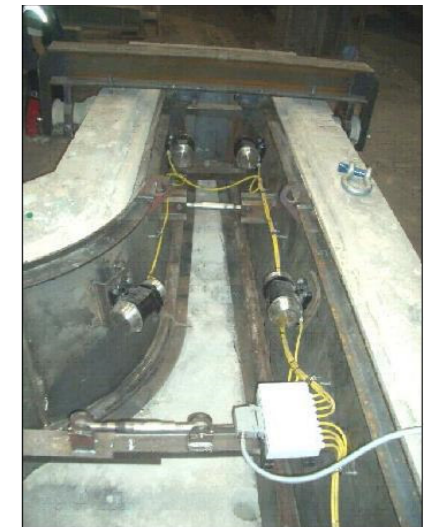
**Figure 6.** ANKERTUN CS machine. (a) silo, (b) conveyer screw, (c) mixing shaft. [3]

If necessary, the operation of the machine can be done by one man only and is conducted from outside of the tundish (see Figure 7). The time where operators climb into hot tundishes are gone.



**Figure 7.** Operating the ANKERTUN CS machine. [4]

To define the inner geometry of the final working lining, a template with attached vibration equipment is in use. Figure 8 shows an example for a template where each vibrator can be individually controlled to ensure an optimal densification at the current filling position.



**Figure 8.** Template with vibrator equipment installed. [3]

Once the mix is hardened, the template can be drawn. The result of a successful lining is shown in Figure 9. This Tundish is ready for any further installation like Stoppers or starter tubes and once done, the tundish can go directly to the casting platform for preheating and operation.



**Figure 9.** Tundish after removing the template. [5]

Once the work is done the CS machine is set into the automatic cleaning mode to remove any possible remnant of material in the mixing shaft as the operator perfectly timed to stop the material feed into the mixing chamber, the waste is zero as the mixing chamber is already empty

before the cleaning mode starts. Figure 10 shows the mixing shaft with opened housing after cleaning mode.



Figure 10. ANKERTUN CS mixing shaft and opened housing [4].

4.1. Raw Material Concept

RHIM has undertaken a big effort to develop tundish working lining material, using different raw material concepts. However, the right choice of raw material is the key to meet the steel producer's requirements in terms of lifetime, consumption and price. Table 1 lists examples for different mixes, based on different raw material concepts like low iron sintered magnesia, used in ANKERTUN SH10. On the same basis and additional containing olivine is ANKERTUN SH20 while ANKERTUN SH70 is based on the Alpine Sinter concept.

A tailor-made tundish refractory solution can be supported by FactSage, a thermodynamic calculation method, considering the interaction of steel, tundish slag and Working Lining. [3]

Table 1. Chemical composition of ANKERTUN SH mixes.

Brand	MgO [%]	CaO [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]
ANKERTUN SH10	93,2	3,0	2,9	0,6	0,1
ANKERTUN SH20	80,2	2,0	14,8	2,7	0,1
ANKERTUN SH70	79,6	14,5	1,0	4,2	0,6

4.2. Impact on CO<sub>2</sub> emissions and energy demand

Through developing the cold-setting mix, RHIM's objective, to ensure maximum tundish vessel availability by reducing relining time as well to aim for an energy-efficient and overall cost saving lining solution, has been realized. The total impact on the overall energy savings is illustrated in Table 2.

Assuming the Tundish is already cooled down, tilted and the permanent lining cleaned, the Step 1, "Wear lining installation" from Table 2 starts. Both technologies can be considered equally at this step, consuming roughly 30 min. While the Slurry Gun Tundish is "Drying at ambient temperature" (Step2) also the CS mix starts "Hardening" (Step 4). The Slurry Gun Tundish is still drying while already "Further installations" of necessary equipment can be mounted on the CS Tundish. At the same time, when the CS Tundish is on the way to the casting platform for preheating, the Slurry Gun Tundish is transferred to the "Drying" station (Step 4) to be dried at least for 3 hours at 500°C.

Table 2. Timeschedule differences from Wearlining installation to transfer to to caster, using Slurrygun and CS technology.

Step	Operation	Time [h]	
		Slurry gunning mix	CS mix
1	Wear lining installation	30	30
2	Drying at ambient temperature	60	---
3	Drying at ~500°C	180	---
4	Hardening	---	30
5	Further installation of equipment, e.g., Stopper	30	30
6	Crane transfer to casting platform	10	10
<b>Total</b>		<b>310</b>	<b>100</b>

The fast turnaround of the tundish is obvious, more important is the removal of at least 3 hours of gas consumption for each lining.

Investigations conducted by M. Kirschen et al [5] compare the total energy requirement (Figure 11). The outcome clearly shows the double demand of energy for a Slurry gun lined tundish while a whole turnaround cycle. The consumption ranges at 615 kWh/t<sub>ref</sub> and is by far the highest demand on energy, while the Cold Setting (or self-hardening mix) shows the most beneficial value of 332 kWh/t<sub>ref</sub>.

Respecting certain preconditions, the tundish could even be cold started at the caster. The impact of such a practice on the CO<sub>2</sub> emissions and potential energy savings is displayed in the lower part of Figure 11 (Startup of cold Tundish). Such a practice can be conducted with a ANKERTUN CS lined tundish but demands a higher superheat of the first ladle in the sequence to bring the whole system to temperature and avoid any freezing.

	Slurry mix	Dry-setting mix	Self-hardening mix
Water content	28 %	..1	..1
Steel template required	No	Yes	Yes
Lining thickness	0.15 m (permanent), 0.04 m (wear)		
Drying and hardening	Temperature	500 °C	350 °C
	Energy required	282 kWh/t <sub>ref</sub>	98 kWh/t <sub>ref</sub>
	Gas required <sup>1</sup>	127 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>	44 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>
Preheating	CO <sub>2</sub> emissions (0.2 kg/kWh)	254 kg/t <sub>ref</sub>	89 kg/t <sub>ref</sub>
	Temperature	1100 °C	1100 °C
	Energy required	210 kWh/t <sub>ref</sub>	210 kWh/t <sub>ref</sub>
Startup of preheated tundish	Gas required <sup>1</sup>	94 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>	94 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>
	CO <sub>2</sub> emissions (0.2 kg/kWh)	189 kg/t <sub>ref</sub>	189 kg/t <sub>ref</sub>
	Temperature	1570 °C	1570 °C
Total energy required	Extra energy required	122 kWh/t <sub>ref</sub>	122 kWh/t <sub>ref</sub>
	Steel temperature loss <sup>2</sup>	12 °C	12 °C
	CO <sub>2</sub> emissions (0.072 kg/kWh)	9 kg/t <sub>ref</sub>	9 kg/t <sub>ref</sub>
Total CO <sub>2</sub> emissions	Energy required	615 kWh/t <sub>ref</sub>	332 kWh/t <sub>ref</sub>
	Gas required <sup>1</sup>	451 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>	286 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>
	CO <sub>2</sub> emissions (0.072 kg/kWh)	431 kg/t <sub>ref</sub>	197 kg/t <sub>ref</sub>
Startup of cold tundish	Extra energy required	..	332 kWh/t <sub>ref</sub>
	Steel temperature loss <sup>2</sup>	..	33 °C
	CO <sub>2</sub> emissions (0.072 kg/kWh)	..	24 kg/t <sub>ref</sub>
Total energy required	Energy required	..	431 kWh/t <sub>ref</sub>
	Gas required <sup>1</sup>	..	24 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>
	CO <sub>2</sub> emissions (0.072 kg/kWh)	..	332 kg/t <sub>ref</sub>
Total CO <sub>2</sub> emissions	Energy required	..	113 kWh/t <sub>ref</sub>
	Gas required <sup>1</sup>	..	24 m <sup>3</sup> /t <sub>ref</sub>
	CO <sub>2</sub> emissions (0.072 kg/kWh)	..	24 kg/t <sub>ref</sub>

Figure 11. Energy requirements for drying, hardening and preheating tundish wear lining mixes. 1,5-2% chemical bonded water (1), assumed energy efficiency of 20% (2) and 100-tonne ladle (3) are indicated. [5]

5. Conclusion

Within the wide range of tundish lining processes for Safety- and Working Lining, the combination of COMPAC SOL and ANKERTUN CS proved to be the state-of-the-art concept to meet a steel producer's demands on Quality, Safety and Production Efficiency.

This setup enables its user to remove the gas burners in the Tundish preparation area, reduce the CO<sub>2</sub> emission to zero and influence overall TCO positively.

References

[1] M. Blajs, et al., "COMPAC SOL – The new generation of easy, safe, and fast heat-up no cement castables", RHI Bulletin, 2010/1, pp. 13-17.  
 [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel_process)  
 [3] R. Sorger, B. Petritz, "Cold-Setting working lining mixes for Tundish", METEC 2011.  
 [4] R. Sorger, B. Petritz, "New Cold-Setting Mixes for Tundish Wear Linings", RHI Bulletin, 2011/1, pp. 54-58.  
 [5] M. Kirschen, et al., "Intelligent Refractory System - A cost effective method to reduce energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in steelmaking", RHI Bulletin, 2010/2, pp. 43-48.

## Evaluation of Refractory Lining Modifications Required for Green Steel Production



**B. BERTRAND, N. ELIAZORD, H. LEMAISTRE, B. TOUZO**

Calderys - Belgium

### ABSTRACT

Following the global awareness of human impact on the environment, industries take more initiatives to reduce their environmental footprint. For this purpose, the steel industry has been studying alternatives to fossil fuels, and especially coal. These alternatives need however to consider that steel making needs not only energy, but a reducing agent to transform the iron ore. Among the possible options, hydrogen seems a very promising one. But this will result in a modification of the chemical, thermal and mechanical stresses on the refractory linings, which need to be evaluated and adjusted. In this paper, we review the information available about the changes in operating conditions of blast furnaces and direct iron reduction process using hydrogen, and suggest possible changes in composition and lining design when needed.

### INTRODUCTION

About thirty years ago, the European Union agreed on a road map to reduce its carbon footprint and the use of fossil fuel. The objective was ambitious and aimed at cutting back the CO<sub>2</sub> emissions to 85 to 90% of the 1990 level by 2050. The steel industry has an important role to play in this ambition as it has a large contribution to the CO<sub>2</sub> emission. Steel production relies mainly on coal as a source of energy and as a way to reduce iron oxide. This issue has been actually investigated for a long time, and several alternative processes and solutions have been tested. The use of new technologies and recycling have already allowed a reduction of the average CO<sub>2</sub> emission from 1500 kgCO<sub>2</sub>/t of steel to about 1300 today. But the final target to reach the 2050 goal would be a CO<sub>2</sub> consumption between 100 and 400kgCO<sub>2</sub>/t steel. A much stronger effort is then needed to reach this level. Among the possible alternative energies, hydrogen is being largely considered as processes to produce it are already available. The process changes will also have consequences on the refractory linings. But the products developed for other industries, such as petrochemistry could be used. The aim of this paper is to discuss these modifications. The evolution of thermal profiles in the refractory linings are simulated. The corrosion resistance to a hydrogen (H<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO) gas environment in temperature on some refractory composition is tested. Finally, a suggestion is made for the evolution of the refractory linings.

### GREEN STEEL PROCESSES

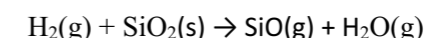
The steel manufacturers have been working on a variety of projects that can be divided in 2 main categories:

- Carbon smart use: in these projects, the blast furnace is still the main tool, coal is charged together with the iron ore, but a mix of carbon monoxide and hydrogen is introduced at the tuyere (for example, Syngas of the H<sub>2</sub>SynGas project). The objective is not to completely eliminate CO<sub>2</sub>, but to reduce its use to about 30%. In some projects the CO<sub>2</sub> can be captured (see for example the Japan COURSE 50 project, ref. 1).

- Carbon avoidance: These projects are usually based on the direct reduction of iron (DRI). This process can run with a mix of reformed CO and H<sub>2</sub>. To avoid CO<sub>2</sub> emission, the objective is to run only with H<sub>2</sub> gas. The two main processes already available are MIDREX and HYL/Energiron. The temperature in these processes is lower than in a blast furnace (around 1000C), while the pressure can be between 1.5 (MIDREX) up to 8 bar (HYL). Other processes are also developed, using iron electrolysis but they are not at the same development level and will not be discussed here (2,3).

### IMPACT ON REFRACTORY LININGS

Blast furnaces and DRI processes have been used for a long time, as well as processes using hydrogen in other industries. Therefore, the changes to the refractory linings in the green steel processes are not as challenging as the one for eliminating CO<sub>2</sub>. The main concern with the increased use of hydrogen is linked to its ability to dissolve silica (SiO<sub>2</sub>) and its high diffusivity in any kind of materials. At high temperature hydrogen can react with silica to transform it into a gas phase according to the reaction:



The reaction kinetics depends on the temperature and the H<sub>2</sub> concentration in the gas phase (4). It is also a function of the SiO<sub>2</sub> concentration in the solids. Silica glass has a much faster dissolution rate than mullite (5). However, it is reported that pressure and water vapor tend to slow down the reaction (6), the role of water being expected as it is a product of the reaction.

In blast furnaces and DRI, until H<sub>2</sub> is available in sufficient quantities, the gas phase will be composed of a mix of CO and H<sub>2</sub>. The possible damage to refractories containing iron impurities is well known. In the case of H<sub>2</sub> and CO mixes, to our knowledge, no combined effect has been reported on the corrosion.

Finally, it is also important to note that due the diffusion of hydrogen in the refractory tends to increase the thermal conductivity. This will change the thermal profile in the linings and also the dew point position. This has to be considered to anticipate and avoid the position of dew points, leading to gas condensation that can increase corrosion (7).

### EXPERIMENTAL

#### Simulation

Some steady state thermal calculations have been realized using the ANSYS Mechanical FEM software in a DRI and in a Blast Furnace.

When the thermal conductivity of a refractory material is measured, the cavities due to porosity are usually filled with air. When this air is replaced by another gas composition with a different thermal conductivity, the total conductivity of the refractory is slightly modified. In the system studied here, the air in the cavities is displaced by the gas mixture of the combustion chamber. The impact on the conductivity is assumed to be proportional to the open porosity of the material, and to the change of the thermal conductivity of the gas in the pores. To evaluate this thermal conductivity, the method of the Simutherm Software (7) is used, which rely on the following equation:

$$k = k_m + P(k_{gas} - k_{air})$$

With:

- $k_{air}$  = thermal conductivity of air
- $k_{gas}$  = thermal conductivity of gas
- $k_m$  = thermal conductivity of refractory in air
- $P$  = porosity of the refractory
- $k$  = thermal conductivity of refractory in gas

To determine the thermal conductivity of the gas, the method from Wassiljewa, Mason and Saxena is used (8). Furthermore, it is assumed that the atmosphere influences the thermal conductivity in all the layers of the lining, without taking in account the potential decrease of the effect due to pore size. The calculation did not take into account pressure.

### Refractory samples

For the experimental tests, seven brick products were selected containing different types of aggregates and alumina content (sample H was not tested but is listed in the table as it was used for simulations). A dense tabular alumina castable (sample I) and an insulation castable (sample J) were also included in the study. The samples are summarized in table 1.

Table 1: alumina content and main aggregate type in the samples of the study

	Alumina [%]	Aggregates
<b>A</b>	85	Bauxite*
<b>B</b>	42	Low Iron Fireclay
<b>C</b>	45	Low Iron Fireclay
<b>D</b>	75	Mullite
<b>E</b>	92	Corundum-Fused Mullite
<b>F</b>	95	Corundum
<b>G</b>	99	Corundum
<b>H</b>	65	Sillimanite
<b>I</b>	42	C. LW Fireclay
<b>J</b>	95	C. Tab. Alumina

(\*) Phosphatic binder

### Corrosion test

The samples were placed in a furnace with a controlled atmosphere containing 25% of CO and 75% of H<sub>2</sub> under 2 bars absolute pressure at two temperatures. At 630°C four heating cycles were performed. For each cycle, the temperature was maintained for 50, 70, 60 and 60 hours. At 930°C, 3 cycles of 80 hours were applied. The total exposure time to the gas composition was therefore 240 hours in both cases. Measurements are carried out at the end of each cycle. These conditions were chosen because of the Boudouard reaction and because they are close to the maximum temperature of DRI. Some tests at even higher temperature or pressure would also be useful, but the equipment limitations did not allow it. This will be considered for future studies.

There is no standard procedure to assess the resistance of refractory materials for H<sub>2</sub>+CO atmosphere, so it was decided in this study to proceed as follow: between each cycle, the Young's modulus E is evaluated by resonant frequency; the weight variations are also measured. A visual inspection of the samples is also performed between each cycle in order to highlight possible

carbon growth. The visual assessment rule for CO resistance test of refractories ASTM C 288 was used to characterize the visual aspect of the samples.

## RESULTS

### Simulation of DRI

Fig. 1 presents the geometry and the refractory types used for calculations for the DRI, the refractory lining design and the gas compositions. We work on half of the geometry, as there is a symmetrical plan. The dome part of the DRI is not included in the calculation and the geometry is stopped just below the plenum. The total height of the geometry is 15.5 m. The top internal diameter is 6 m. The Bottom internal diameter is around 6.8 m, and the maximum diameter in the plenum is 10m.

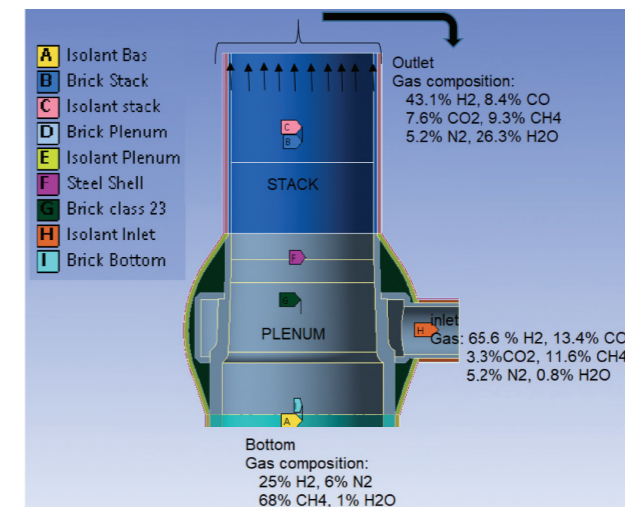


Fig. 1 Geometry of the DRI used for calculations

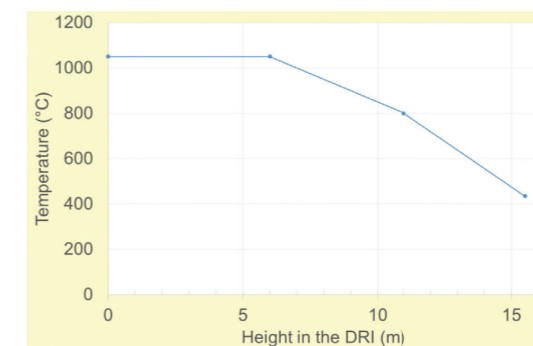


Fig. 2 Evolution of the temperature in the internal part of the DRI

The insulating layer for all places except in the plenum is made of CALDE CAST LW 134 CO C/G with a thickness of 15cm. In the plenum CALDE CAST MW 148 CO HR is used with a thickness of 18cm. These two monolithic castables are based on light aggregates, low iron for

better resistance to CO. The thickness of the bricklayer in the plenum is 25 cm or 50 cm. The thickness in the stack and the inlet is 15 cm. The thickness of the brick in the bottom is 25 cm.

In the internal part of the DRI, we assume a linear gas composition evolution from inlet to top and bottom. Consequently, there is also a linear evolution of the conductivity for refractories, as explained in the experimental section, between the inlet (H=2.7 m) and the outlet (H=15.5 m), and between the inlet (H=2.7 m) and the bottom (H=0m). In the Inlet chamber we will use only the thermal conductivity of the inlet. For the thermal conditions, we fixed a temperature profile as shown in Fig 2. We applied on the external face a natural convection ( $2w/m^2 \cdot ^\circ C$ ) and radiation (emissivity 0.8 in an ambient temperature of  $25^\circ C$ ).

Table 2: summary of materials properties used for the simulations.

	density Kg/m3	Thermal conductivity (W/m°C)			
		20°C	400°C	800°C	1000°C
Steel shell		7850			
CC LW 134 CO	900	0.23	0.23	0.25	0.3
CC MW 148 CO	1950	1.06	0.92	0.88	0.94
Brick class 23	520	0.15	0.15	0.19	0.24
Brick C	2350	1.91	1.58	1.43	1.45
Brick H	2750	3.42	2.69	2.32	2.24
Brick E	3200	6.6	4.90	4.00	3.64

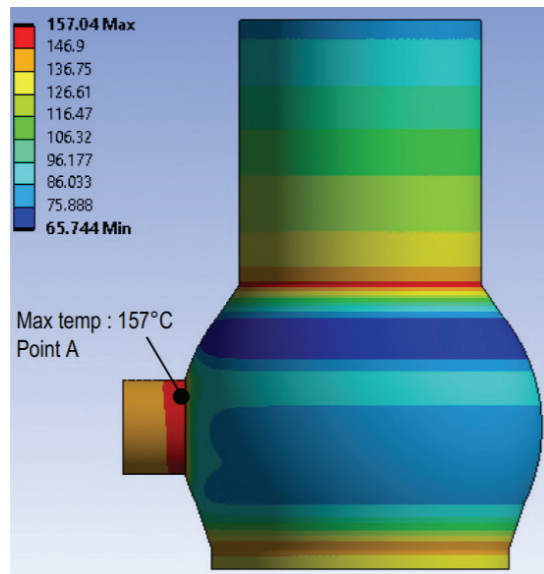


Fig. 3 Thermal field on the steel shell

Table 3. Maximum temperature at point A in Fig. 1

	Point A – Max temperature
Solution 1 - Air	157.04
Solution 1 - DRI	176.5
Solution 2 - Air	164.98
Solution 2 - DRI	186.05
Solution 3 - Air	171.1
Solution 3 - DRI	193.6

For the calculations 3 different refractory solutions are tested:

- Solution 1: All bricks type C, 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, low iron fireclay
- Solution 2: All bricks type H, 65% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sillimanite
- Solution 3: All bricks type E, 92% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fused Mullite.

The table 3 compares the maximum temperature reached on point A, for the different solutions. Fig 3 shows the general thermal field obtained with solution 1, and the thermal field on the back lining. To be able to compare more precisely the different results we plot the evolution of the temperature along a vertical line on the surface of the steel shell. The results are shown on Fig. 4. Fig. 5 presents the difference between the results obtained in a DRI atmosphere and air atmosphere. The lowest maximum temperature is logically obtained with solution 1, then solution 2 and the higher temperature is obtained with solution 3 due to the increase of thermal conductivity of the brick with their density.

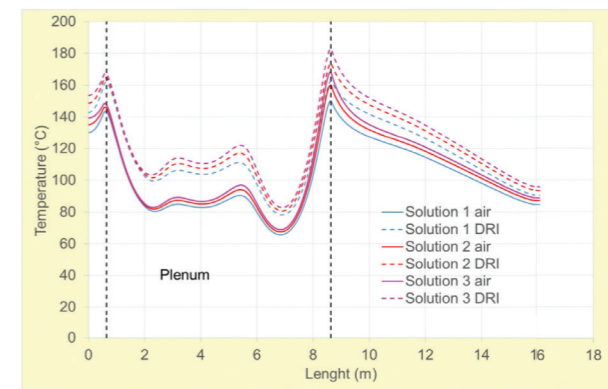


Fig. 4 Evolution of the temperature on the steel shell along the vertical line

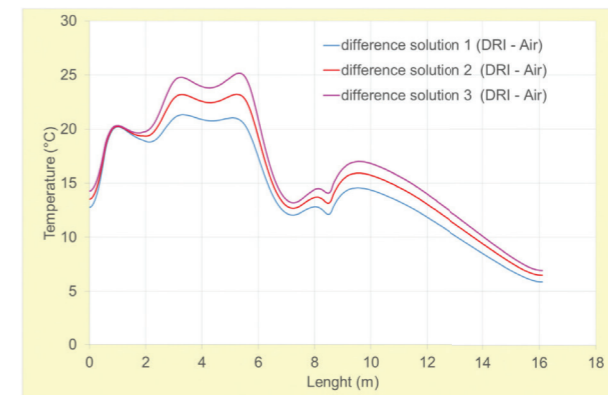


Fig. 5 Difference between air atmosphere and DRI atmosphere for each solution.

With the DRI atmosphere the temperature on the steel shell is maximum  $25^\circ C$  higher than with air atmosphere. With solution 2, the maximum temperature on the steel shell is maximum  $10^\circ C$  higher than with solution 1. With solution 3, the maximum temperature on the steel shell is max  $20^\circ C$  higher than with solution 1.

### Simulation of blast furnace

Similar simulation was carried out on the blast furnace using gas composition and temperature profile as proposed for the H2Syngas project (9) and was compared to the normal process. The use of syngas showed little difference with the normal process, Only an increase of the maximum temperature on the external face by about 8°C was observed. Therefore, the results are not detailed in this paper.

### Refractory tests

#### Evolution of Young's modulus

The relative evolution of Young's modulus after 240 hours in the previously described testing conditions is presented in Fig. 6. Note that the drop was important after 50 hours, but quite stable afterwards. The Young's modulus of the Bauxite based material shows a significant drop in Young's modulus after 240 hours of curing time at 630°C. It is most probably linked to the iron content of this material and CO attack. However, at higher temperature, the Young's modulus drop is much smaller. The drop of the Young's modulus of the other brick materials shows some variation but there are globally in the same range. The mullite based material (sample D) shows a slightly more important drop. Note that the initial Young's modulus of the corundum based material (~100 GPa for the sample G) is higher than the one of the mullite (~25 GPa for the sample D) or fireclay (~20 GPa for the sample C) material. Therefore, even though the relative decrease in mechanical properties of the corundum based material is higher, it has still a higher Young's modulus than fireclay or mullite materials after curing.

The castable samples were not tested at 630°C. At 930°C the dense tabular alumina castable also show a larger reduction of young's modulus than the other samples.

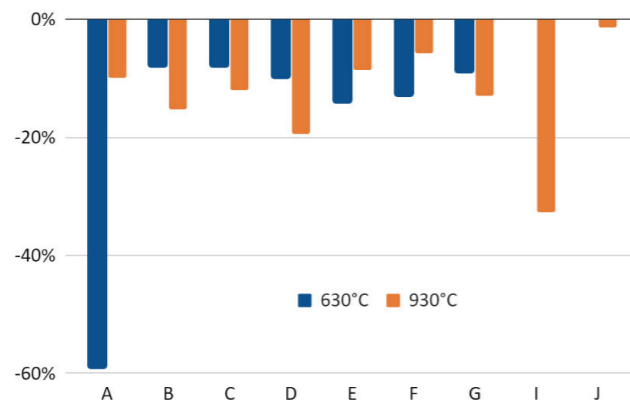


Fig. 6 relative evolution of Young's modulus after 240 hours

#### Corrosion behavior

For each composition, the weight of the material was plotted as a function of curing time. Fig. 7 shows the results at 930°C. Fig. 8 shows the comparison between 630 and 930°C after 240h curing time. Even at 930°C, the refractory corrosion is still quite moderate, but a trend can be seen. It goes in the same direction as what is reported in the literature. Among these samples the product with a high alumina content have a lower corrosion (samples E, F, G). Then the corrosion rate globally decreases with the alumina content. The bauxite brick however shows the highest

corrosion rate of the brick samples despite a quite high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> level. The corrosion of some samples is larger at low temperature. This seems a little surprising and should be further investigated.

The castable samples show a different behavior. Their corrosion rate is much higher compare to bricks for given alumina level. For the insulation castable, the corrosion is probably increased because of the high porosity of the sample which allows a large surface interaction with the gas phase.

#### Carbon growth

The visual aspect of each sample was observed after 240 hours. At 630°C the bauxite based product was the only affected and showing carbon growth. At 930°C, some damages were also noticed and some samples were partly broken. Iron is known to favor the Boudouard reaction. Thus, the carbon growth here can be correlated to the presence of iron impurities in the aggregates. On the fireclay materials, small black spots or black coloration appear after 50 hours at 630°C and 930°C. However, there is no spall or crack and the size of the spots do not evolve with the holding time.

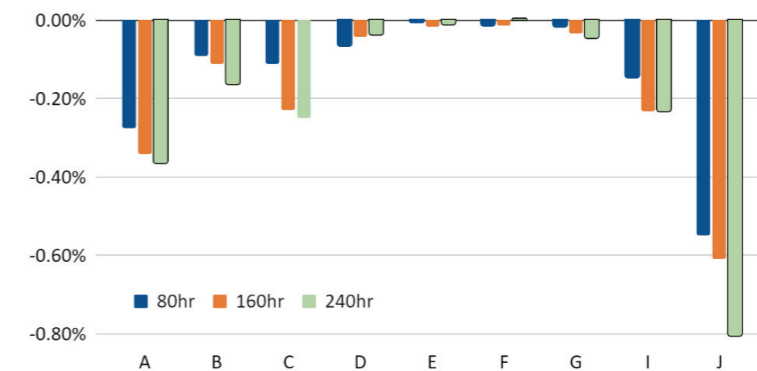


Fig. 7 Weight loss of sample A to J at 930°C

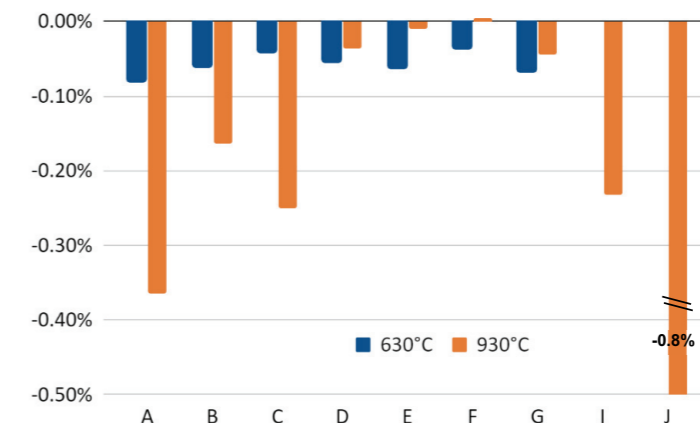


Fig. 8 Comparison of the weight loss of sample A to J at 630 and 930°C

## DISCUSSION

It is well known that the operating parameters of any industrial installation play a significant role in refractory performance. The understanding of the wear mode is therefore of primary importance to make an optimal refractory selection in terms of performance and cost.

### Direct Reduction Iron Unit

#### 1-Description of the wear modes

The wear modes in a direct reduction unit are driven by the temperature level and the gas composition in first order, and by the mechanical and thermomechanical load, in second order. Thanks to the past experience in DRI units, and to the experimental work on thermal modelling and corrosion under atmosphere, it is possible to suggest a diagram with the predominant wear modes per area (Fig. 9).

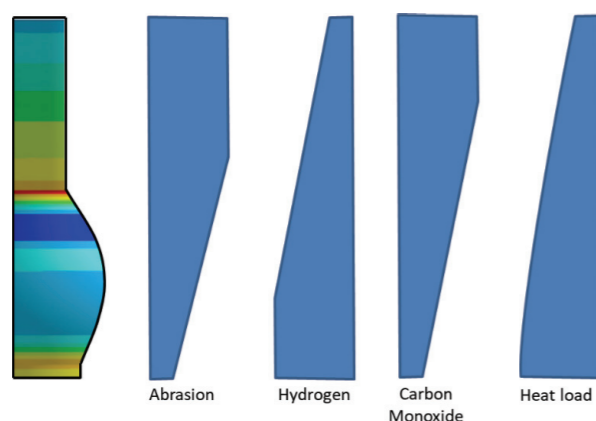


Fig. 9 Possible refractory wear mechanisms and their severity by zone in a DRI.

This diagram suggests that the corrosion by hydrogen is predominant in the plenum area and the lower stack while abrasion is predominant in the upper stack. The main reason for that clear shift from chemical to mechanical wear is mainly governed by the temperature level and the gas composition.

The gas composition is not constant in the reactor. We observe that the concentration of reducing gas is decreasing when moving upwards, but hydrogen is still in high proportion whereas the vapor concentration is increasing quite significantly from the plenum to the stack. The temperature is also not constant in the reactor and ranges between 900°C to 1050°C at the plenum level, and 500°C in the upper stack. The iron ore pellets state will also vary and if the melting of the pellets is not happening, the pellets will soften in the plenum.

#### Interpretation of the wear phenomena per area:

**Upper stack:** In the upper stack the level of temperature is rather low (500°C) and there is also a high level of vapor steam. This limits the effect of the hydrogen. However, carbon monoxide is present and can react with the iron oxide present in the bricks. The pellets, being solid, are stressing the bricks by friction and abrasion.

**Middle stack:** In the middle stack the temperature is increased to 700°C and has also a relatively high level of steam. This limits the effect of the hydrogen but to a lower extent. Therefore silica

can start to transform into silica hydroxide. Carbon monoxide is also present and can react with the iron oxide present in the bricks and with the back-up insulating lining. The pellets, being solid, put stress on the bricks by friction and abrasion.

The main stresses on the refractory are summarized in table 4.

Table 4. Summary of the main constraints

	Temperature	Gas composition	Pellets
Upper stack	500	H <sub>2</sub> : 45% / CO: 8% / CH <sub>4</sub> : 10% / H <sub>2</sub> O: 30%	Solid+++
Middle Stack	700	H <sub>2</sub> : 50% / CO: 8% / CH <sub>4</sub> : 10% / H <sub>2</sub> O: 20%	Solid++
Lower Stack	900	H <sub>2</sub> : 60% / CO: 8% / CH <sub>4</sub> : 10% / H <sub>2</sub> O: 10%	Solid +
Plenum	1000	H <sub>2</sub> : 65% / CO: 14% / CH <sub>4</sub> : 12% / H <sub>2</sub> O: 0%	Solid
Injection	1050	H <sub>2</sub> : 65% / CO: 14% / CH <sub>4</sub> : 12% / H <sub>2</sub> O: 0%	-

**Lower stack:** In the lower stack the level of temperature is increased to 900°C. The hydrogen concentration is relatively high and the corrosion rate is increased. The level of steam is much reduced. Silica changes into silica hydroxide in higher proportion. Carbon monoxide is also present and can react with the iron oxide present mostly in the back-up insulating lining. The pellets, being much softer, are not creating important mechanical stresses.

**Plenum:** The plenum is the most complex area because of the multiple stresses. The corrosion by gases is predominant because the temperature level and the H<sub>2</sub> concentration are favorable to silica volatilization. Carbon monoxide can alter back insulating lining.

The thick insulation castable can also promote the condensation of acids on the shell.

This area is also submitted to thermomechanical stresses due to a complex expansion pattern especially at the transfer line inlet and thermal cycling.

The effect of hot pellets is limited, however a bad control of the temperature inside the reactor can lead to pellet sticking.

The high gas velocity observed in some processes can cause abrasion.

**Injection area:** At the injection nozzle level, the corrosion by gas is the predominant stress as the level of temperature above 1000°C fosters the volatilization of silica.

**Insulation:** The silica reduction shall not occur in the insulating layer, however, carbon monoxide effect shall be observed.

#### 2-Criteria for refractory selection

The chemical composition of the refractory is of primary importance but is not enough to achieve the desired property and the right behavior in use. Therefore, it is necessary to establish a list of recommendations to achieve good performance in use.

When talking about silico aluminate refractories and in particular bricks we have to keep in mind the following statements:

**Iron content:** Boudouard reaction is predominantly occurring between 450°C and 650°C, therefore several areas of the reactor are subjected to corrosion. A low iron content is mandatory but this is not enough to achieve a good resistance to carbon monoxide as per the ASTM C 288. From experience, a maximum of 1,5% iron oxide is recommended however, as regards to the bricks, the manufacturing parameters, like for instance, the firing temperature or pressing force, are key.

As illustrated in the corrosion test, bauxite is not suitable since the carbon growth resulted in cracks formation at an early stage of the test. It has been observed that, despite a low iron content (<1,2%), some black spot, stabilized, appeared on the fireclay based bricks. IT is worth noting that these bricks are classified class A as per the ASTM C 288. Mullite and corundum based products are showing no degradation by the combination of carbon monoxide and hydrogen.

Currently, there is no international standard related to the corrosion of refractories in hydrogen media therefore, the standard ASTM C 288 is still the reference for the testing of refractories for DRI application. By interpolation, we could consider that samples B and C could be considered at least class A/B and samples D, E, F and G could be considered class A under the tested environment.

**Silica content:** The subject has been discussed in the review section. The main take-away from the literature is that corrosion by hydrogen is proportional to silica content in the raw materials and higher silica content raw materials are more subjected to corrosion. However, the test temperature was not sufficiently discriminant to observe volatilization of silica and significant weight loss. Therefore, no product ranking has been established. Further tests at higher temperature would be necessary to observe significant degradations. However, an observation with a microscope coupled with EDX could bring more light on the extent and on several aggregates.

**Open porosity:** This is relevant in regards to gas permeability and subsequent corrosion processes but also in connection with a lower abrasion resistance. A higher porosity is also leading to a lower spalling resistance. For the plenum area being largely submitted to thermal stresses, low porosity products are recommended. The porosity is also linked to the pressing force. From experience, we recommend a maximum of 15%, when high grades are in the range of 12%

**Mechanical characteristics:** The strength of the bricks is connected to several parameters, like the raw materials and the manufacturing parameters, among others. Abrasion resistance as per the international ASTM C 704, is a relevant characteristic. This is mostly valid for the upper part of the reactor. The Refractoriness Under Load (RUL) and Modulus of Rupture (MOR) will be more relevant for higher temperature areas which are more subject to shear stresses and hot loads.

For areas where high abrasion resistance is requested, mechanical strength can be improved by using a chemical bonding, based on phosphate.

The E modulus measurements showed that the loss of strength is mostly happening in the first 50 hours and then stabilizes under the test atmosphere. The strength is affected by 5-10% already at a relatively low level of temperature and below the volatilization temperature of 1000°C.

**Raw material selection:** This will be made taking into account the level of temperature and gas composition but the following raw materials are preferred, also considering the maximum iron oxide content.

- Low iron Fireclay for low duty areas
- Selected low iron Mullite, Andalusite or Sillimanite for medium duty areas

- Mullite for medium/high duty areas
- Fused or sintered alumina for high duty areas
- Fused or sintered alumina in combination with fused mullite for high duty area
- *NB: Bauxite is to be avoided due to the high iron oxide content.*

### 3-Proposed refractory solution

The refractory selection can differ from one plant to the other considering the different types of reactor, gas composition pressure, etc... However, the following product selection is proposed for the Midrex and HYL technology. The dense refractory castable tested here does not seem to be the best option. Some work will be needed to confirm these results and analyse the mechanisms behind this behavior.

Table 5. Summary of the refractory selection

Process	Midrex 2bars/900°C		HYL 5bars/1050°C	
	Standard	Optimum	Standard	Optimum
Upper Stack	Fireclay brick- low Fe – high T firing	Andalusite or Mullite Corundum -low Fe – Phosphate bond	Fireclay brick- low Fe – high T firing	Andalusite or Mullite Corundum - low Fe
Middle Stack	High Alumina fireclay – Low Fe – High T firing	Andalusite or Mullite Corundum -low Fe – Phosphate bond	High Alumina Fireclay – Low Fe – High T firing	Andalusite or Mullite Corundum - low Fe
Lower stack	Andalusite or Mullite Corundum - low Fe – Phosphate bond	Corundum - – Phosphate bond	Andalusite or Mullite Corundum - low Fe	Mullite
Plenum	Corundum - Phosphate bond	Corundum – Fused Mullite	Andalusite or Mullite Corundum - low Fe	Corundum
Injection	Corundum - phosphate bond	Corundum – Fused Mullite	Corundum	Corundum – Fused Mullite

### Blast furnace

Different projects to upgrade the blast furnace with COG, Syngas, hydrogen are under study by steelmakers in partnership with OEM companies. Considering the cooling system in place in most of the blast furnaces, we have detected no issue on thermal profile in the refractory. However, some processes are showing that internal blast furnace temperature could be increased.

In this regard, some tests are in progress on the monolithic refractories to address the effect of hydrogen. Mainly the effect of lime containing monolithic is at stake and focus will be made on silicon carbide containing products.

### CONCLUSION

In this paper the influence of hydrogen on iron production in blast furnaces and DRI process has been investigated. Regarding refractory materials, high alumina dense bricks are confirmed to be the best materials against hydrogen attacks. This type of materials can be kept for the areas with the strongest hydrogen content and the highest temperature. Castables, even with a high total alumina content, do not seem to be as resistant, and further studies will be needed to understand the mechanisms and to design appropriate castable microstructure. More studies will be also needed on product test methods and evaluation. In the results presented in this paper, the corrosion level is quite low, it would probably be interesting to extend the time and increase the temperature to be able to amplify differences. Using these new experiments, the experience on the current DRI



process and to the know how developed in other fields, it is possible to suggest refractory lining solutions for green steel which are mostly available. It will be also important to monitor the changes and process improvement to further optimize the refractory solutions.

## REFERENCES

1. K. Nishioka, Y. Ujisawa, S. Tonomura, N. Ishiwata, P. Sikstrom, "Sustainable Aspects of CO2 Ultimate Reduction in the Steelmaking Process" (COURSE50 Project), Part 1: Hydrogen Reduction in the Blast Furnace ; Published online: 23 May 2016 The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) 2016
2. Molten Oxide Electrolysis. Boston Metals. <https://www.bostonmetal.com/moe-technology>.
3. Siderwin. Development of New Methodologies for Industrial CO2-Free Steel Production by Electrowinning. <https://www.siderwin-spire.eu/content/objectives>.
4. X. Li, "Effects of gas atmosphere on reduction of quartz and its reaction with silicon carbide for silicon production", Page 88, 86, PhD Thesis University of Wollongong (2016).
5. S.T. Tso, J.A. Pask, "Reaction of Silicate Glasses and Mullite with Hydrogen Gas", J Am Ceram Soc, 383 - 387 65 [8] (1982).
6. M.S. Crowley, "Hydrogen-Silica Reactions in Refractories, Presented at the Sixty-Eighth Annual Meeting of the American Ceramic Society in Washington, D. C., May 10, 1966 (Refractories Division Paper No. II-R-66)
7. Simutherm 7.0, Manual Part 4
8. VDI Wärmeatlas Ausgabe 10.2006
9. Synthetic gas injection into the BF. Miriam Valerius/ Klaus Peter Kinsel (Paul Wurth)/ Rongshan Lin (Dillinger). Seminar Hydrogen-based reduction of iron ores. 02/11/2021

## Pota Taban Çalışma Astarı Olarak Precast Taban Bloğu Kullanılması

The Use of Precast Refractory as a Working Lining Bottom of Ladle



Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Berkan GÜNGÖR<sup>2</sup>, N. Erol VELGAY<sup>2</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik, <sup>2</sup>Metamin Mümessillik - Türkiye

### Abstract

In Bilecik Demir Çelik, ladles are vessels with a refractory braid used to transfer the liquid metal from the main melting unit (induction furnace) to the secondary metallurgical processing unit (LF) and continuous casting machine (CCM), respectively, or directly from the induction furnaces to the CCM. Ladles enable the carrying of liquid metal in the iron and steel industry, as well as alloying, degassing and reheating. Ladle refractories have important duties to carry out these operations safely and smoothly. Since ladle refractories are constantly exposed to liquid steel and slag, wear, system safety, durability and refractoriness should be prioritized. Another point to be considered while designing ladle refractory material is the scope of cost/benefit analysis.

The acidic lined ladles at the BDC are generally dismantled due to bottom wear. This means that the wall lining is dismantled before it can be used at its full performance, as well as experiencing more frequent ladles bottlenecks in operating conditions and causing production losses. Even though in time, certain gains have been achieved in the life of acidic ladles with some improvements made at the BDC, the presence of some low performance points such as decrease in ladle volume, lining costs and long period of the relining process indicates that improvement can continue in acidic ladle bottoms.

In this context, the alumina based (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) precasted working ladle working block project, which is unique as a working lining, has been developed with Metamin A.S. As a result of this trial, ~30% reduction in ladle relining time and ~11% increase in ladle volume were successfully achieved. On the other hand, the targeted increase in ladle lifetimes could not be achieved, and the number of trials should be increased.

### Özet

Bilecik Demir Çelik'de potalar, sıvı metali ana ergitme biriminden (*indüksiyon ocağı*) önce ikincil metalürjik

işlem birimine (*LF*) sonra da sürekli döküm makinesine (*SDM*) ya da indüksiyon ocaklarından direkt olarak *SDM*'ye aktarmak için kullanılan içi refrakter örgülü kaplardır. Potalar, demir-çelik endüstrisinde sıvı metali taşımının yanı sıra alaşımlama, gaz giderme ve yeniden ısıtma işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlarlar. Bu işlemlerin güvenli ve sorunsuz şekilde gerçekleştirilmesi için pota refrakterlerine önemli görevler düşmektedir. Pota refrakterleri, sürekli sıvı çelik ve cürufa maruz kaldıklarından dolayı aşınma, sistem emniyeti, dayanıklılık ve refrakterlik özellikleri öncelikli ön planda tutulmalıdır. Pota refrakter malzemesi tasarımı yapılırken diğer dikkat edilmesi gereken konu ise fayda/maliyet analizi kapsamıdır.

BDC'de kullanılan asidik astarlı döküm potaları, genel olarak taban aşınması kaynaklı söküme ayrılmaktadır. Bu durum, duvar astarının tam performansında kullanılmadan sökülmesi anlamına geldiği gibi işletme şartlarında daha sık pota darboğazı yaşayıp üretim kayıplarına neden olmaktadır. Zaman içerisinde BDC bünyesinde yapılan birtakım iyileştirmelerle asidik potaların ömürlerinde belirli kazanımlar elde edilmiştir. Ancak; pota hacminde azalma, örüm maliyetleri, örüm sürecinin uzunluğu gibi nedenlerin varlığı asidik pota tabanlarında hala geliştirilebilecek noktaların varlığını kanıtlar niteliktedir.

Bu kapsamda, taban çalışma astarı olarak özgün olan alümina bazlı (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) prefabrik pota taban çalışma bloğu projesi, pota ömürlerinin artırılması, pota örüm maliyetlerinin ve örüm süresinin azaltılması amacıyla Metamin A.Ş ile birlikte geliştirilmiştir. Bu çalışma çıktısı olarak 1 adet deneme sonucunda pota örüm süresinde ~%30 azalma ve pota hacminde ~%11 artış başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Pota ömürlerinde ise hedeflenen artış yakalanamamış olup, deneme sayısının artırılması gerekmektedir.

### 1. Giriş

Refrakterler, metalürji endüstrisi tarafından sıvı metalin üretilmesi, bekletilmesi ve taşınması için fırınların,

konvertörlerin ve potaların astarlarında kullanılır. Bu ekipmanların bazıları yüksek basınç altında çalışır ve çalışma sıcaklığı çok düşükten çok yükseğe kadar değişebilir (yaklaşık 400 °C ile 1800 °C arasında). Bu nedenle, refrakter malzemelerin bu sıcaklıklara dayanması ve görevini eksiksiz yerine getirmesi refrakter malzemelerin kilit parametrelerinden en önemlisidir [1].

Refrakterleri fiziksel biçimlerine göre şekilli ve şekilsiz refrakterler olarak sınıflandırabiliriz. İlki yaygın olarak refrakter tuğlalar (şekilli) ve ikincisi monolitik (şekilsiz) refrakterler olarak bilinir [2].

Refrakter malzemeler, refrakter tasarımları ve refrakterlerin bakım ya da yeniden örüm parametreleri, bir çelik üretim tesisinin enerji verimliliğini ve üretim (ergime/ısıtma) hızını olumlu ya da olumsuz etkilemesinin yanı sıra demir-çelik tesislerinde refrakter maliyetleri tipik olarak fırınların ve potaların en büyük maliyet kalemini oluşturmaktadır. Toplam refrakter maliyetleri, refrakter malzemelerin hammaddeleri, örümü, örüm ve söküm süreleri ve sinterlemek için kullanılan enerji gibi parametrelerin hepsi dahil edilerek hesaplanmalıdır. Bu maliyetleri kontrol altında tutmak ve sürdürülebilir boyutlara indirmek amacıyla endüstride refrakter malzeme maliyetlerinin azaltılması için alternatif hammadde arayışları, kurulum maliyetlerinin azaltılması için yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi, kurulum süresinin kısaltılması için precast refrakterlerin yaygınlaştırılması gibi konuların üzerine yoğunlaşmaktadır [3]

Precast refrakterler yüksek sıcaklıklarda yapısını korumaları için tasarlanmaktadır. Precast refrakterler fırınlar, konvertörler ve potalar için astar olarak uygulanır. Precast refrakterlerde yüksek aşınma alanları olması durumunda verimli bir şekilde onarım yapılmasını kolaylaştırmak için tasarlanırlar ve üretilirler. Günümüzde enerji yoğun demir-çelik üretimi her noktada sürdürülebilir ve verimliliği yüksek bir endüstri olmak için sürekli gelişim ve değişim içerisindedir. Bu nedenle enerji maliyetlerini kontrol altında tutmak isteyen demir-çelik işletmeleri, refrakter örüm-söküm ya da değişim işlemlerinde precast refrakterler kullanarak duruş sürelerini yani üretimsiz geçen zamanı minimize etmek için çalışmalar yürütmektedir.

Bu çalışmada BDÇ'de kullanılan asidik potaların mevcut fayda/maliyet göstergesinin, refrakter aşınma davranışının iyileştirilmesi ve pota örüm süresinin düşürülmesi için pota tabanı precast taban bloğu kullanılarak örülmüş performans göstergeleri incelenmiştir.

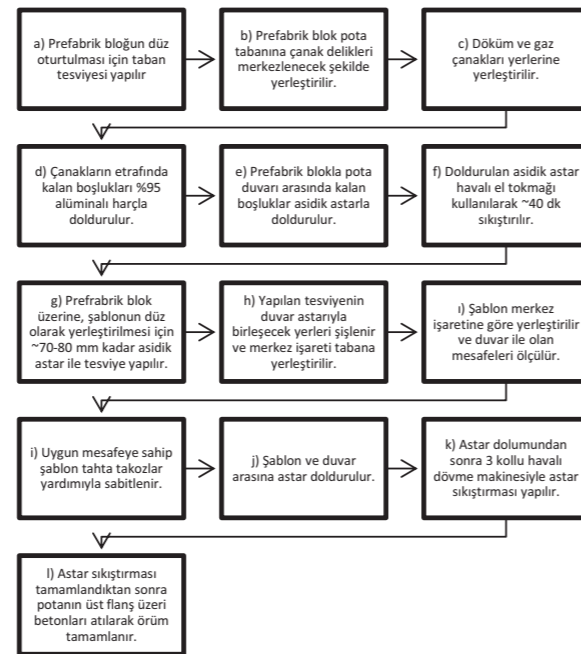
## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Mevcut taban örümü pratiği

BDÇ'de kullanılan asidik potaların tabanları, minimum %85 alüminaya (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sahip tuğlalar kullanılarak örülmektedir. Çalışma tabanının toplam yüksekliği 380 mm'dir ve iki sıra tuğladan oluşmaktadır. Birinci sıra 230 mm ve ikinci sıra 150 mm tuğlalardan örülüp yaklaşık 330 adet (3285 kg) tuğla kullanılmaktadır. Örülen tuğlaların üzerine asidik astarla yaklaşık 50 mm'lik bir tesviye yapılarak şablon merkezlemesi yapılmakta ve şablon etrafına asidik astar doldurulmaktadır. Astar dolumu tamamlandıktan sonra üç pistonlu havalı dövme makinesiyle duvar astarı sıkıştırılmakta ve sonrasında örümü tamamlanan pota ön ısıtmaya alınmaktadır.

### 2.2. Precast taban ile pota örümü

Precast taban ile örülen potanın örüm aşamaları Şekil 1'de adım adım gösterilmiştir.



Şekil 1. Precast taban ile pota örüm adımları

### 2.3. Precast tabanın özellikleri

Metacast-Sol1780/V malzemesi kullanılarak imal edilen precast taban bloğunun görünümü Şekil 2'de

gösterilirken malzeme özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



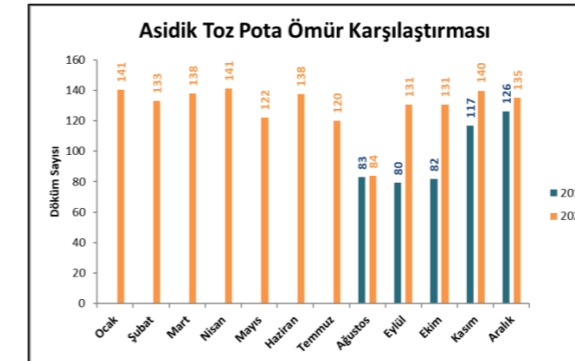
Şekil 2. Prefabrik blok görünümü

Tablo 1. Prefabrik bloğun malzeme özellikleri

Özellik	Kimyasal
Bağ Tipi	Kimyasal
Kimyasal Analiz	%83,0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %12,2 SiO <sub>2</sub>
Servis Sınırı	1780 °C
Maks. Uygulama Sıcaklığı	1700 °C
Tane Boyutu	0-12 mm
Kalıcı Doğrusal Boyut Değişimi (PLC)	~%0,1 (1300 °C'de)

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bölüm 2.1'de anlatılan örüm pratiği ile örülen potaların taban astar kesiti 380 mm olup precast taban bloğunun kesiti 300 mm'dir. Mevcut örüm yapılan potaların ortalama ömür grafiği Şekil 3'te verilmiş olup süreç içerisinde bu potalardan maksimum 161 döküm alınmıştır.



Şekil 3. Asidik pota ömür ortalamaları

Tablo 2'de de özetlendiği üzere precast blokla tabanı örülen pota, toplamda **18 gün (431,25 saat) devrede** kalmış ve bu sürenin **yaklaşık 80 saatini çelikte temas** ederek geçirmiştir. Geri kalan sürede pota sirkülasyonu gereği ısıtmalı ya da ısıtmasız olarak döküm almayı beklemiştir. Devrede olduğu süre boyunca **yaklaşık 3073 ton çelik** transfer edilmiş ve SDM'de ortalama 34 dakika dökümde kalmıştır.

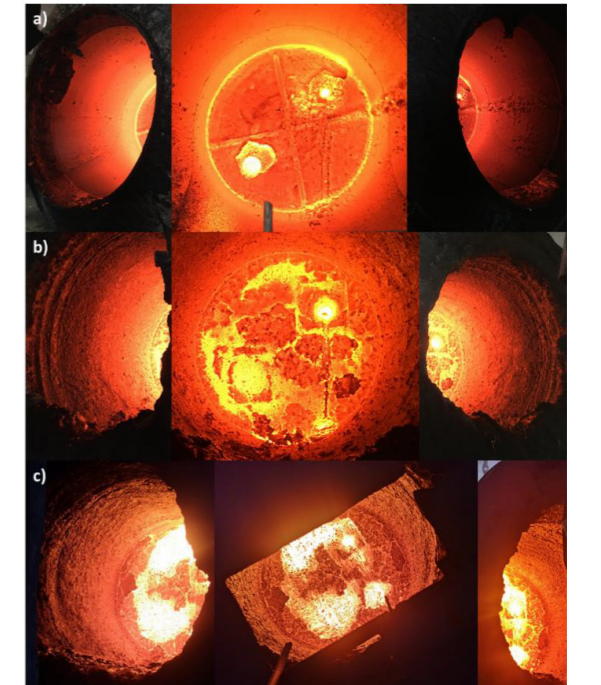
Tablo 2. Precast tabanlı potanın üretim sürecindeki verileri

	Tonaj (ton)	Devirme Sıcaklığı (°C)	Tandış Sıcaklığı (°C)	Yol Sayısı	Döküm Süresi (Saat)
<b>Toplam</b>	3.073,0	-	-	-	79,7
<b>Ortalama</b>	28,5	1694	1551	2,9	33,8 dk/döküm

SDM Yol Sayısı	Tandış Sıcaklığı (°C)	SDM Yol Sayısı	Döküm Sayısı (adet)	Ort. Döküm Süresi (dk)
1	-	1	0	-
2	1553	2	7	43,6
3	1551	3	102	33,1

Precast tabanlı pota üretiminde olduğu süre zarfında titizlikle kontrol edilmiş olup belirli döküm sayılarında duvar ve taban astar resimleri çekilip aynı zamanda da tabanın yükseklik ölçülerine bakılmıştır. Seçilmiş bazı resimler Şekil 4'te verilmiştir.



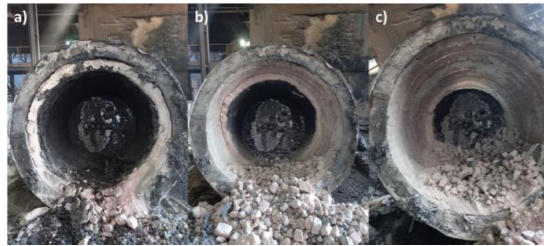
Şekil 4. a) 1. döküm sonu, b) 47. döküm sonu ve c) 109. döküm sonu pota duvar ve taban görüntüleri

Precast tabanlı döküm sayısına göre tabanın yükseklik ölçüleri ve hesaplanan aşınma miktarı değerleri *Tablo 3*'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Ölçülen pota yüksekliğine bağlı hesaplanan aşınma miktarları

Döküm Sayısı	Ölçülen Yükseklik (mm)	Kalan Taban Astarı (mm)	Aşınma Miktarı (%)
22	2020	280	6,7
47	2080	220	26,7
62	2130	170	43,3
86	2180	120	60,0
105	2200	100	66,7
109	2250	50	76,7

Precast tabanlı pota, *Şekil 4c*'deki resimlerde görülebileceği üzere taban vuruş bölgesindeki zayıflama ve tabanın orta noktasının 2250 mm ölçülmesi nedeniyle 109 döküm sonunda sökülme ve inceleme için soğumaya alınmıştır. Asidik potaların sökümüne ayrılmasında kullanılan karar ölçülerimiz; duvar astarı için orta bölgede 2050 mm iken taban için 2250 mm'dir. Söküm sırasında; potanın ağız bölgesindeki, orta bölgesindeki ve taban-duvar birleşim yerinde kalan duvar astar kesitleri ölçülerek not edilmiştir. Duvar astar kesitleri *Şekil 5*'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** a) Ağız bölgesi, b) orta bölge ve c) taban-duvar birleşim bölgesinde kalan astar kesitleri

Pota duvar astarı çap ölçüleri; ağız bölgesinde 2040 mm, orta bölgesinde 1950 mm ve taban duvar birleşim yerinde 1880 mm ölçülmüştür. Pota duvar astarının kalan kesitlerin kalınlıkları *Tablo 4*'te verilmiştir. Potanın duvar çap ölçülerinde ve duvar kesitlerinde, beklenen dışında bir aşınmaya ve herhangi bir çelik penetrasyonuna rastlanmamış olup yukarıda belirtildiği üzere duvar astarının orta bölgesi söküm karar ölçüsüne gelmemiştir.

**Tablo 4.** Duvar astarının bölgelere göre kesitleri ve aşınma miktarları

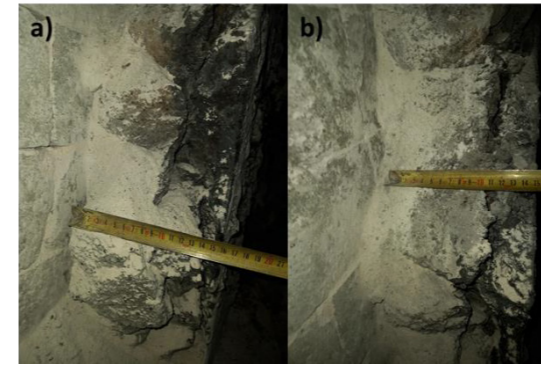
Bölge	Yön	Kesit Kalınlığı (mm)	Aşınma Miktarı (%)
Ağız	12	140	6,7 (10 mm)
	3	140	6,7 (10 mm)
	6	120	20,0 (30mm)
	9	130	13,3 (20 mm)
Orta	12	130	39,5 (85 mm)
	3	140	34,9 (75 mm)
	6	140	34,9 (75 mm)
	9	140	34,9 (75 mm)
Taban-Duvar Birleşimi	12	150	46,4 (130 mm)
	3	130	53,6 (150 mm)
	6	120	57,1 (160 mm)
	9	130	53,6 (150 mm)

Duvar astarının sökümü tamamlandıktan sonra precast taban bloğunun sökümüne başlanmıştır. *Şekil 6*'da görülebileceği üzere taban sökümüne, taban vuruş bölgesinin solundan gaz çanağının hemen üzerinden taban emniyet astarını bulmak suretiyle bir oyuk açılarak başlanmıştır. Oyuk açıldıktan sonra açılan bölgeden tabanın kesit ölçüleri alınmıştır.



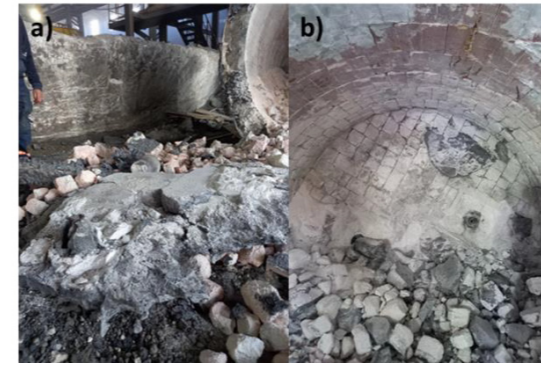
**Şekil 6.** Taban sökümüne başlangıç noktası

Açılan oyuktan çekilen kesit görüntüleri *Şekil 7*'de kesit kalınlıklarıyla birlikte verilmiştir.



**Şekil 7.** a) Vuruş bölgesinin solu ve b) gaz çanağı üzeri taban kesitleri

*Şekil 7*'de görüldüğü üzere vuruş bölgesi ve taban ortasında çelik kalıntısı mevcuttur. Bu kalıntı çıkarıldığında tabanın orta bölgesiyle birlikte bütün olarak dışarıya çıkartılmıştır (*Şekil 8*). *Şekil 8b*'de görüldüğü gibi taban bloğu alındıktan sonra emniyet astar tuğla üzerinde çelik penetrasyonu görülmüştür.



**Şekil 8.** a) Çelikli orta bölge tabanı ve b) bloğun alınması sonra taban emniyet astarı

Çıkarılan taban bloğunun kesit ölçüleri *Şekil 9*'da gösterilmiştir. Orta bölgeden çıkartılan bloğun kalan en düşük kalınlığı 40 mm iken en yüksek kalınlığı ise 100 mm olarak ölçülmüştür. En düşük kalınlığı baz aldığımızda taban blok kalınlığına göre %86,7'lik bir aşınma görülmektedir. Taban bloğunu vuruş ve orta bölgesindeki aşınma miktarlarının %66,7 ile %86,7 arasında olduğu hesaplanmıştır. Duvar astarının altında kalan taban bloğunun kalınlıkları ise 140 mm civarında seyretmektedir.



**Şekil 9.** Vuruş ve orta bölgeden çıkarılan taban bloğunun kesit görüntüleri

#### 4. Sonuç

*Tablo 3*'te görüleceği üzere 22. dökümden (taban 2020 mm ve kalan taban 280 mm) itibaren belirli periyotlarla taban ölçüleri alınmış ve precast tabanlı pota, 109. döküm sonunda 2250 mm taban yüksekliği ölçülerek 50 mm taban kaldığı gerekçesiyle soğumaya alınmıştır.

Precast tabanın aşınması, çeliğin ilk çarptığı vuruş bölgesi, bu bölgenin altında kalan orta bölge ve döküm çanağı etrafında yoğunlaşmış olup en ince nokta 40 mm olarak ölçülmüştür. Tabanın aşınma miktarı, en kalın yerden en inceye doğru %53,3 ile %86,7 arasında olduğu hesaplanmıştır.

Precast taban bloğunun maliyeti taban tuğla maliyetiyle aynı tutulmuş olmasına rağmen precast tabanlı pota, ortalama 130 döküm alan tuğla tabanlı potalara göre yaklaşık %16 daha az döküm almıştır. Bu noktada fayda/maliyet parametresi bakımından mevcudun altında kalmaktadır. Ancak tek bir deneme malzemenin davranışını anlayıp performansını tam anlamıyla ortaya çıkarmak için yeterli değildir bu nedenle post-mortem analizlerin sonucuna göre geliştirmeler yapılarak deneme sayısı arttırılacaktır. Potanın iç hacminin 35,1 ton'dan (4,5 m<sup>3</sup>) %10,7 artışla 38,8 ton'a (4,98 m<sup>3</sup>) çıktığı hesaplanırken pota örüm süresinde ise ~%30 düşüş yakalanmıştır.

## Referanslar

- [1] D.H. Hubble, Steel Plant Refractories, Chief Refractory Engineer, U.S. Steel Corp. (Retired)  
 [2] Bhatia PDH Course M158, Overview of Refractory Materials. 2011  
 [3] K. Cynthia, Business analysis of total refractory costs, Fayetteville, USA

## Farklı Çaplardaki Çelik Çubukların Görüntü İşleme Metodu ile Otomatik Sayılması: Deneysel Bir Çalışma

Automatic Counting of Steel Bars of Different Diameters by Image Processing Method: An Experimental Work



**Gökhan ARMAN, Batuhan BİLGİ, Ali APALI, Ahmet YAVUZ, Rüşdi ERDEM**  
 Proton Otomasyon Elektrik Makine - Türkiye

### Abstract

Errors caused by manual counting of the produced steel bars at the packaging stage is one of the problems that may occur in the rolling mills. In order to prevent counting errors and increase work efficiency, it has become necessary to perform the counting process automatically, as much as possible without human touch.

In this study; Counting of round steel bars with diameters of 8 mm and 32 mm was carried out with the image processing software developed in Python language and having an interface. Iron rods move at speeds varying between 1-40 m/min on the mechanical chain conveyor system, which is originally designed and manufactured. Two different counting algorithms are used for counting with image processing. The first of these counting algorithms is the Centroid Tracking Algorithm (CTA), where counting is performed by following the centers of the circles. The other algorithm used is a counting algorithm consisting of two steps. In the first stage of this algorithm; the video frame is divided into three areas and a set of heuristic rules are derived based on these areas. In the second stage, a set of matching algorithms developed to identify repetitive objects between successive frames is used for situations for those not included in the first stage. Counting error rates were determined for these two counting algorithms and comparison results were presented.

### Özet

Üretilen çelik çubukların paketleme aşamasındaki manuel sayımından kaynaklanan hatalar, haddehanelerde meydana gelebilecek sorunlardan biridir. Sayım hatalarının önüne geçmek ve iş verimliliğini arttırmak için sayım işleminin mümkün olduğunca insan eli değmeden, otomatik olarak yapılması gerekli hale gelmiştir.

Bu çalışmada; 8 mm ve 32 mm çaplarındaki yuvarlak çelik çubukların Python dilinde geliştirilen ve arayüze sahip olan görüntü işleme yazılımı ile sayımı gerçekleştirilmiştir. Demir çubuklar, özgün olarak tasarlanan ve imal edilen mekanik zincirli konveyör sistemi üzerinde, 1-40 m/dak arasında değişen hızlarda hareket etmektedir. Görüntü işleme ile yapılan sayma işlemi için iki farklı sayma algoritması kullanılmıştır. Bu sayma algoritmalarından

birincisi yuvarlakların merkezlerini takip ederek sayma işleminin gerçekleştirildiği Centroid Tracking Algoritmasıdır (CTA). Kullanılan diğer algoritma, iki aşamadan oluşan bir sayma algoritmasıdır. Bu algoritmanın ilk aşamasında video çerçevesi üç alana bölünüp bu alanlara dayalı bir dizi sezgisel kural çıkarılır, ikinci aşamada ise, birinci aşamada çıkarılan kuralların dışında kalan durumlar için, art arda gelen çerçeveler arasında tekrar eden objeleri belirlemek amacıyla geliştirilen bir dizi eşleştirme algoritması kullanılır. Bu iki sayma algoritması için sayım hata oranları belirlenmiş ve karşılaştırma sonuçları ortaya konulmuştur.

### 1. Giriş

İnşaat demirleri, Dünya'da en çok üretilen ve tüketilen demir-çelik ürünlerinden birisidir [1]. İnşaat demiri üreticileri rekabet gücünü artırmak için ağırlık üzerinden gerçekleştirilen ödeme yöntemini miktara göre ödeme yöntemiyle değiştirmektedir. Günümüzde satışa sunulan her bir inşaat demiri paketindeki inşaat demir adeti sabittir. Ancak şu anda inşaat demiri fabrikalarının çoğunda inşaat demirinin manuel olarak sayılmaktadır [2]. Manuel sayım, hataya oldukça açıktır. Yüksek işçi emek yoğunluğu ve düşük iş verimliliği nedeniyle manuel sayım, gerçek zamanlı gereksinimleri karşılayamamaktadır ve bunun sonucunda otomatik çelik üretiminde hız sorunlarını ortaya çıkarmaktadır [3].

Otomatik inşaat demiri sayma sisteminin en basit yöntemlerinden biri fotoelektrik sensör teknolojisidir. Konveyör banttaki bir inşaat demiri, fotoelektrik sensörden geçtiğinde bir elektrik darbesi tetiklenir ve sayaç, bunun sonucunda bir adet artar. Ancak bu yöntem, ciddi sorunlarla karşılaşmıştır. Bir inşaat demirinin başka bir inşaat demirine yapışma veya üst üste yığılma şansı vardır. Bu da fotoelektrik sensör teknolojisinin inşaat demirlerini doğru şekilde saymasını zorlaştırır [4].

Ürün sayma ile ilgili çok sayıda araştırma görüntü işlemeyle dayalıdır [3]. Görüntü işleme ile sayma teknolojisi mağazalarda müşteri analizlerinde, ulaşımda, tarım ve endüstriyel üretimde hali hazırda kullanılmaktadır. Sayım işlemi gerçekleştirilecek nesnelere renk, şekil ve boyut gibi bazı ön tanımlamalar yapmak gerekebilir. Fakat çelik çubukların sayımında, demirlerin uçları yuvarlak olduğu için

özellikleri aynıdır. Bu yüzden herhangi bir nesne ayırt etme metoduna ihtiyaç duyulmamaktadır.

Bu çalışmada; 8 mm ve 32 mm çaplarındaki yuvarlak çelik çubukların görüntü işleme teknolojisi kullanılarak sayımı gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme ile yapılan sayma işlemi için iki farklı sayma algoritması kullanılmıştır. Kullanılan bu iki sayma algoritması, Centroid Tracking Algoritması (CTA) [5] ve bildirinin geri kalanında Eşleştirme ile Sayma Algoritması [4] olarak bahsedilen algoritma karşılaştırılmış ve sonuçları ortaya konmuştur.

## 2. Amaç ve Kapsam

Günümüzdeki modern haddehanelerde sürekli haddeleme yöntemi ile çalışılmaktadır. Bu yöntemde tavllanmış olan kütük art arda tezgahlardan geçerek işlenmekte, istenilen nihai ürünler talep edilen boylara göre kesilmekte ve paketlenmektedir. Sürekli haddelemede her tezgâh bir diğeri ardına sıralandığından, herhangi bir süreçteki yavaşlama ya da duraklama tüm üretimi yavaşlatmaktadır. Özellikle çelik çubuk üretiminde sayma işleminin manuel yapılması hem işçilik maliyetini arttırmakta hem de üretim hızını düşürmektedir. Ayrıca paketlenmede belirli sayıda çelik çubukların gruplanması için zaman zaman üretim bandının duraklatılması gerekmektedir. Bu durum hat verimliliğini azaltmaktadır. İşçilik giderlerinin de yüksek olması sebebi ile üretim maliyeti artmaktadır. Sonuç olarak firmaların verimliliğini arttırması ve maliyetlerini düşürerek rekabet avantajı sağlamaları için sayma işlemini otomatik olarak yapan sistemlere ihtiyaçları vardır. Endüstri 4.0 geçiş sürecinde görüntü işleme teknolojileri kullanılması kaçınılmazdır.

Yapılan görüntü işleme algoritması ve kurulan prototiple amaç, konveyör bant üzerinde ilerleyen yuvarlak çelik çubukları, eksiksiz bir şekilde tespit ederek doğru bir sayım işlemi gerçekleştirmek ve demir adeti, belirlenen sayıya ulaştığında konveyör bandının otomatik olarak durdurulması sonucu yuvarlak çelik çubukların ayrılması ve böylelikle adetler şeklinde yuvarlak çelik çubukların paketlenmeye hazır hale getirilmesidir.

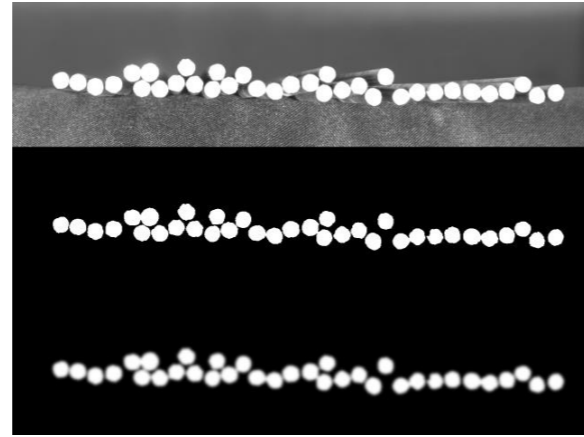
## 3. Yöntem

### 3.1. Görüntünün Hazırlanması

Nesnelerin tespit edilebilmesi için görüntünün donanımsal ve yazılımsal olarak hazırlanması gerekmektedir. Donanımsal olarak inşaat demirlerinin yuvarlak uçları doğru ışık kaynağıyla aydınlatılarak görüntü işlemede kullanılacak endüstriyel kameranın shutter, gain, ROI (Region Of Interest) gibi donanımsal ayarlarının yapılması gerekir. Bu ayarların tamamlanmasıyla görüntünün, siyah ve beyaz şeklinde ikili (binary) bir görüntü haline gelmesi için bir ön hazırlık yapılmış olur.

Görüntüde, inşaat demirlerin yuvarlak uçlarının beyaz ve bunun dışında kalan diğer tüm arka planın siyah kalması için yazılımsal olarak threshold filtresinin [6] uygulanması gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada; threshold filtresi olarak "Threshold to Zero" kullanılmış ve filtredeki eşik değeri 254 seçilmiştir. Bu filtre ile eşik değeri ve eşik değerinin altında kalan piksel renk değerleri 0, eşik değerinin üstünde kalan piksel renk değerleri ise 255 değerine atanarak görüntüde sadece siyah ve beyaz renklerin kalması sağlanmaktadır.

Görüntü, bu haliyle çok fazla gürültü içerdiği için bir smoothing (yumuşatma) filtresi kullanmak gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada; 17x17 kernel genişliğinde GaussianBlur filtresi [7] kullanılarak Gauss gürültüleri yok edilmiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için threshold uygulanan görüntü, boyutsal problemleri çözmek amacıyla önce gri forma dönüştürülüp sonra GaussianBlur filtresi uygulanması gerekmektedir. Şekil 1'de sırasıyla orijinal görüntü, threshold filtresi uygulanan görüntü ve en sonda da GaussianBlur filtresi uygulanan görüntü gösterilmektedir.



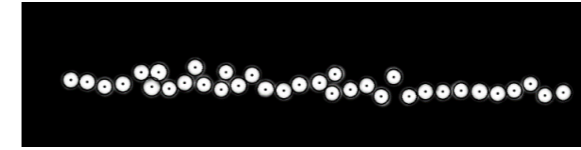
Şekil 1. Orijinal görüntü, Threshold filtresi uygulanan görüntü ve GaussianBlur uygulanan görüntü.

Şekil 1'de görüleceği üzere orijinal görüntü, kullanılan endüstriyel kameranın 8-bit monochrome özellikli olması sebebiyle gri olarak görülmektedir. İnşaat demirlerinin yuvarlak uçlarının led projektörle aydınlatılmasıyla threshold filtresi uygulanan görüntü, siyah ve beyaz şeklinde ikili bir görüntü haline getirilmiştir. Görüntüdeki gürültüleri yok etmek amacıyla da kullanılan yumuşatma filtresi olan GaussianBlur filtresi ile de görüntü, nesnelerin yakalanması için hazır hale gelmiştir.

### 3.2. Yuvarlak Çelik Çubukların Tespiti

Görüntüde demir çubukların ön yüzleri, yuvarlak, beyaz ve gürültülerden de arındırılmış olmasıyla beraber yuvarlak çelik çubuklar tespit edilebilmektedir. Nesnelerin tespit

edilebilmesi için, demirlerin ön yüzlerinin yuvarlak olması özelliğinden yararlanılarak Hough Circle Transform yöntemi uygulanabilmektedir. OpenCV kütüphanesinde bulunan HoughCircles fonksiyonu ile yuvarlak çelik çubuklar, çemberler olarak rahat bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bu fonksiyonda, minDist, minRadius, maxRadius parametreleri, kameranın inşaat demirlerine olan uzaklığına ve kameranın görüş açısına da bağlı olarak farklı çaptaki yuvarlak çelik çubuklara göre değişim göstermektedir. Bu deneysel çalışmada; 8 mm ve 32 mm çapındaki yuvarlak çelik çubuklar ile çalışılmış olup HoughCircles fonksiyonunda bulunan bu parametrelerin hesapları, iki farklı çaptaki yuvarlak çelik çubuklar için yapılmış ve bu hesaplarda bulunan değerler ile yapılan deneyler sonucunda en doğru parametreler fonksiyona verilmiştir. Şekil 2'de OpenCV kütüphanesinde bulunan HoughCircles fonksiyonuyla, 8 mm çapındaki yuvarlak çelik çubukların tespit edilmesi sonucu çizilen çemberler ve çemberlerin merkezleri görülmektedir.



Şekil 2. HoughCircles ile tespit edilen 8 mm çapındaki yuvarlak çelik çubuklar.

### 3.3. Sayma Algoritmaları

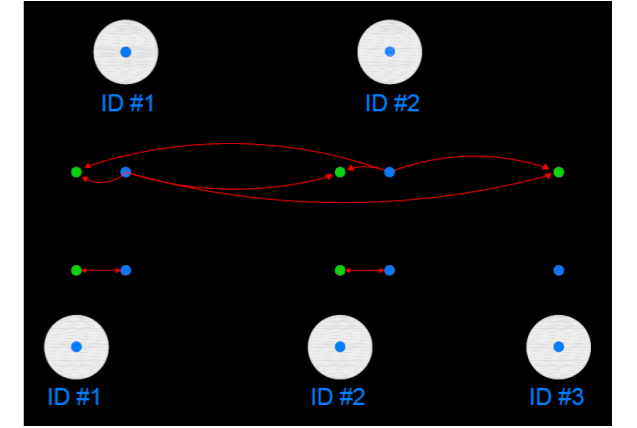
HoughCircles fonksiyonu ile tespit edilen her bir inşaat demiri yazılımda çember şeklinde tanımlanmış haldedir. Bilindiği üzere her çemberin bir merkez noktası vardır ve sayma algoritmalarında da bu merkez noktaları üzerinden sayma işlemi yapılmaktadır.

Yuvarlak çelik çubukların konveyör bant üzerinde ilerlemesiyle çemberlerin merkez noktaları her bir kamera karesinde değişmektedir. İnşaat demirlerini sayma algoritmaları da bu değişimin sonuçları olarak geliştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada, iki farklı sayma algoritması kullanılmıştır.

#### Centroid Tracking Algoritması

Centroid Tracking Algoritması (CTA) [8], tespit edilen her nesnenin merkezini izlemek üzere kurulmuştur. Bu algoritmada, (k-1)'inci ve k'inci karelerdeki nesne merkezleri karşılaştırılmaktadır ve bu iki kare arasında, tespit edilen merkezler arasındaki mesafe ölçülerek, yeni nesne tespitinin belli bir uzaklıktan fazla olanlar için yapılması amaçlanmıştır. Bu iki merkez arasındaki mesafeyi bulmak için, öklid uzaklık formülünden yararlanılarak algoritma oluşturulmuştur. Görüş alanına giren her inşaat demiri, her karede işlenmekte ve nesnelerin ardışık iki kare arasındaki öklid uzaklıkların karşılaştırılması yapılarak yeni

bir inşaat demiri olup olmadığı anlaşılmaktadır. Eğer iki kare arasındaki öklid uzaklığı, belirlenen öklid uzaklık değerinden büyükse yeni bir nesne ataması yapılacaktır.

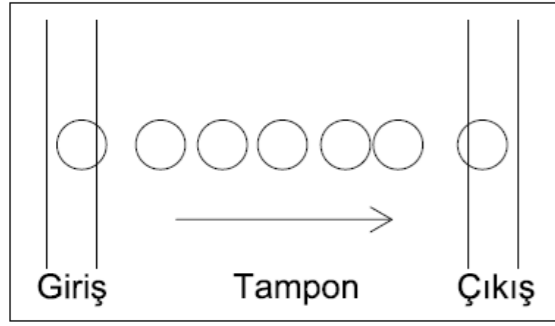


Şekil 3. Centroid Tracking Algoritmasıyla yeni nesne tespiti.

Şekil 3'te CTA ile yeni nesne tespitinin oluşturulması gösterilmiştir. Bu şekilde öncelikle kameradan alınan görüntüde iki adet nesne tespiti vardır ve nesnelere benzersiz kimlikler 1 ve 2 numaralarıyla verilmiştir. Konveyör hattının bu örnek için sağdan sola doğru ilerlediği düşünüldüğünde, kameradan alınan görüntüler de FPS'ye ve hat hızına bağlı olarak değişmektedir. Öncelikle kameranın görüş alanında 2 adet yuvarlak çelik çubuk varken bir sonraki karede kameranın görüş alanında başka bir nesne merkezi daha tespit edilmiştir. Bu görselde (k-1)'inci karedeki nesne merkezleri mavi renkle gösterilmiş ve k'inci karedeki nesne merkezleri de yeşil renkle gösterilmiştir. Bu aşamada her (k-1)'inci karedeki nesne merkezleri ile her k'inci karedeki nesne merkezleri arasında öklid uzaklık hesapları yapılmaktadır. Bir yuvarlak çelik çubuğun bir sonraki karede hat hızına bağlı olarak ilerleyebileceği piksel miktarı hesaplanarak, bu miktardan küçük olan değerlerde nesne merkezlerinin eşleştirilmesi yapılmamasıyla aynı nesne olduğu saptanır ve eşleştirilemeyen nesne merkezine yeni benzersiz bir kimlik atanır. Böylelikle kameranın önünden geçen her yuvarlak çelik çubuk için benzersiz kimlikler atanarak bir sayaç oluşturulur ve bu sayaç, istenilen adete ulaştığında konveyör motorunun otomatik olarak durdurulması sağlanır.

#### Eşleştirme ile Sayma Algoritması

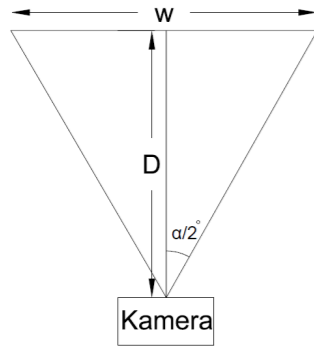
Bu yöntemde kameranın görüş alanı, giriş, tampon ve çıkış alanları olmak üzere üç alana bölünmektedir. Bu bağlamda hattın soldan sağa doğru ilerlediği varsayıldığında giriş alanı, ilk kez bir inşaat demirinin görüldüğü sol kısımda yer alır. Çıkış alanı da bir inşaat demirinin son kez görüldüğü sağ tarafta bulunur. Tampon alan ise giriş ve çıkış alanlarını birbirinden ayıran ara bölmedir [4].



Şekil 4. Görüntünün giriş, çıkış ve tampon alanı olarak bölünmesi.

Giriş ve çıkış alanlarının genişlik ayarı, bir kare zamanında bir nesnenin ilerlediği en uzun mesafe olmalıdır. Bu yöntemde hat hızının, kamera FPS'sinin ve yazılımda sayma işleminin gerçekleştirildiği yatay doğrultudaki piksel sayısının birbiriyle doğrudan ilişkisi vardır.

Kameranın lens özelliklerine bakılarak yataydaki görüş açısı bilinmelidir. Böylelikle kameranın inşaat demirlerine olan uzaklığı ölçülerek Şekil 5'te gösterildiği üzere yataydaki görüş uzunluğu bulunabilir.



Şekil 5. Kameranın yataydaki görüş uzunluğu hesabı.

Şekil 5'te kameranın inşaat demirlerine olan uzaklığı D, kamera lensinin yataydaki görüş açısı α ve kameranın yataydaki görüş uzunluğu da w olarak tanımlanırsa;

$$w = 2 \left( \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right) \cdot D \quad (1)$$

formülü ile kameranın yatay uzunluğu bulunur.

Bir inşaat demirinin bir kamera karesi olan bir framede ilerlediği uzunluk bulunacağı için kameranın FPS değeri sabit tutulmalıdır. Kamera tarafından çekilen iki frame arasındaki süre t olarak tanımlandığında;

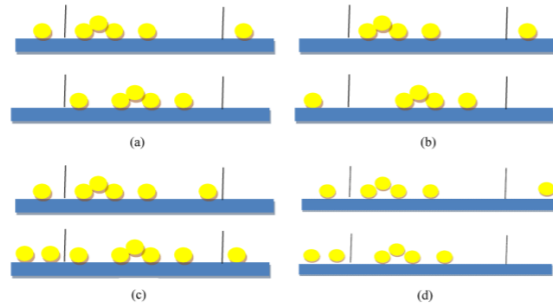
$$t = \frac{1}{FPS} \quad (2)$$

olarak hesaplanır.

Konveyörlü zincirin hat hızı V, giriş ve çıkış alanları A ve kameranın özelliklerinde bulunan yataydaki piksel sayısı da  $w_{cam}$  olarak tanımlandığında A alanlarının genişliği Denklem 3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$A = V \cdot t \left( \frac{w_{cam}}{w} \right) \quad (3)$$

Böylelikle bir nesnenin, bir frame içerisinde, giriş ve çıkış alanlarında bir kez görüntülenmesi sağlanmaktadır. Bu doğruluk aşamasında öncelikle dört adet kural oluşturulmaktadır. Şekil 6'da bu dört kuralın açıklanması için bir görsel sunulmuştur.



Şekil 6. Dört kuralın gösterimi: (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4 [4].

Şekil 6'da görüldüğü üzere a, b, c ve d durumları dört kural olan R1, R2, R3 ve R4'ü temsil etmektedir.

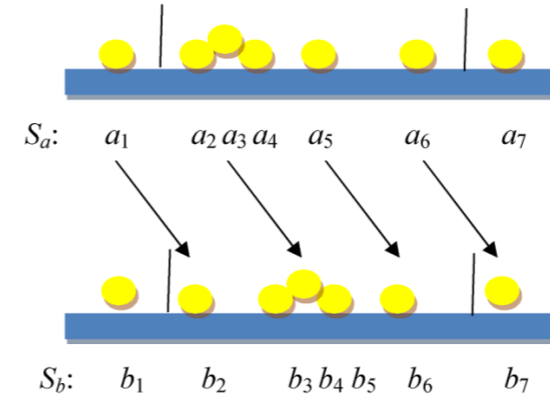
R1: Mevcut karede hiçbir nesne olmadığında  $N_{yeni}$  sıfıra eşittir.

R2: Bir önceki karede giriş alanında herhangi bir nesne olmadığında, giriş alanındaki nesne(ler) yeni gelen nesne(ler) olarak kabul edilir.

R3: Bir önceki karede çıkış alanında hiçbir nesne görünmez. Bu, önceki karedeki tüm nesne(ler)in halen mevcut karede görüldüğü anlamına gelir. Böylece yeni nesnelerin sayısı olan  $N_{yeni}$  mevcut kare ile önceki kare arasındaki nesne sayısının farkına eşittir.

R4: Mevcut karede, çıkış alanında hiçbir nesne yoktur, ancak önceki karede çıkış alanında nesne(ler) vardır. Bu, önceki karedeki giriş ve tampon alanlarındaki nesne(ler)in halen mevcut karede görüldüğü anlamına gelir. Böylece  $N_{yeni}$  mevcut karede nesne adeti ile önceki karedeki giriş ve tampon alanlarındaki nesne adeti arasındaki farka eşittir.

Bu durumların dışında kalan durumlar için de nesnelerin bir önceki karedeki konumları ile mevcut karedeki konumlarının eşleştirilmesi yapılmıştır.



Şekil 7. Önceki kare ile mevcut kare arasında nesne eşleştirme [4].

Şekil 7'de önceki kare ile mevcut kare arasında nesnelerin eşleştirilmesi yapılmıştır. Böylelikle dört kuralın dışındaki her durumda nesnelerin eşleştirilmesi yapılarak bir sayma yöntemi geliştirilmiştir.

Diğer durumlar: Dört kuraldan hiçbiri geçerli değilse,  $N_{tekrar}$  değerini elde etmek için tekrarlayan objelerin sayısını bulmamız gerekmektedir. Tekrarlayan nesne, nesnenin hem önceki karede mevcut karede görüldüğü anlamına gelmektedir. Bu diğer durumlar, inşaat demirlerinin birbiri ardına geldiği zaman en çok karşılaşılan durumlardır.

Önceki framede bulunan nesne merkezlerinin kartezyen koordinat eksenindeki x değerleri  $a_i$  ve mevcut framede bulunan nesne merkezlerinin kartezyen koordinat eksenindeki x değerleri de  $b_i$  olarak tanımlandığında;  $S_a = a_i$  ve  $S_b = b_i$  olmak üzere iki adet koordinat dizisi elde edilmektedir. Şekil 7'de gösterildiği gibi,  $S_a (a_1, a_2, \dots, a_6)$  dizisi, ardışık iki karede tekrarlı nesneyi öğrenmek için  $S_b (b_2, b_3, \dots, b_7)$  dizisiyle tam olarak eşleşir.

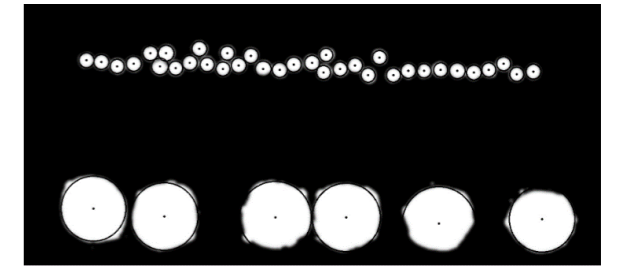
Ardışık iki çerçeve arasında dizi eşleşmesinden önce, tekrarlayan nesnelerin dizisinin tam uzunluğu bilinmemektedir. Dizinin olası uzunluğunun alt sınırını ve üst sınırını belirledikten sonra alt sınırdan üst sınıra artan bir değişken ( $m$ ) tanımlanır.  $S_a ((k-1)$ 'inci karede nesne dizisi) ve  $S_b (k$ 'inci karedeki nesne dizisi)'nin son  $m$  uzunluğundaki alt dizisi çıkarılır.

Alt dizi çıkarımından sonra, iki dizideki herhangi iki nesne arasındaki maksimum kaymanın bulunması gerekmektedir. Dizilerin eşleştirilmesi için  $S_a$  ve  $S_b$  dizileri, artan değişken olan  $m$  yardımıyla  $S_c$  ve  $S_d$  dizilerine dönüştürülmelidir.  $S_c$

dizisi,  $S_a$  dizisinin  $m$  uzunluğuna kadar eşit bir şekilde tanımlanır. Bu durumda;  $S_c = (c_1, c_2, \dots, c_m) = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  şeklindedir.  $S_d$  dizisi ise  $S_b$  dizisinden  $S_d = (d_1, d_2, \dots, d_{m-1}, d_m) = (b_{N(k)-m+1}, b_{N(k)-m+2}, \dots, b_{N(k)-1}, b_{N(k)})$  şeklinde türetilmektedir. Böylelikle  $S_c$  ve  $S_d$  dizileri  $m$  uzunluğunda eşleştirilmeye hazır iki dizidir. Örneğin  $S_c, (c_1, c_2, \dots, c_m)$  şeklinde bir x-koordinat dizisi ve  $S_d$  ise  $(d_1, d_2, \dots, d_{m-1}, d_m)$  şeklinde bir x-koordinat dizisidir. İki ardışık karedeki nesnelerin, aynı nesne olarak kabul edilebilmesi için  $c_1$  ve  $c_2$  arasındaki mesafe,  $d_1$  ve  $d_2$  arasındaki mesafeye eşit olmalıdır. Fakat yine de bu mesafeler tam eşit olmayabilir. Çünkü iki ardışık kare arasında inşaat demiri, bulunduğu konumdan hat hızından bağımsız olarak hareket edebilir ya da çok küçük bir değer farkı olsa da çemberleri tespit eden houghcircle fonksiyonu, merkez tespit etmede yanılabilir. Bu kayma değişkeni de  $\theta$  şeklinde tanımlanır. Alt dizilerdeki herhangi iki nesnenin kayması  $\theta$  değerinden küçükse, önceki ve mevcut karelerin iki  $m$  uzunluğundaki alt dizisi eşleştirilmiş olarak kabul edilir. Başka bir deyişle, inceleme  $(k-1)$ 'inci kareden  $k$ 'inci kareye kadar en az  $m$  tekrarlayan nesne olduğunu doğrular, böylece tekrarlayan nesne sayısı  $m$  olacak şekilde güncellenir.

#### 4. Deneysel Çalışmalar

Haddehanelerde 8 mm çapından 32 mm çapına kadar farklı çaplarda inşaat demirlerinin üretimi yapılmaktadır. Görüntü işleme ile farklı çaplarda inşaat demirlerini saymak için yazılımda bazı değişiklikler yapmak gerekmektedir. Bu değişikliklerde öncelikle nesnelerin tespit edilebilmesi için her çaptaki inşaat demiri için OpenCV kütüphanesinde bulunan HoughCircles fonksiyonundaki parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. Şekil 8'de 8 mm ve 32 mm çapındaki yuvarlak çelik çubukların OpenCV kütüphanesinden faydalanılarak tespit edilmesi gösterilmiştir.

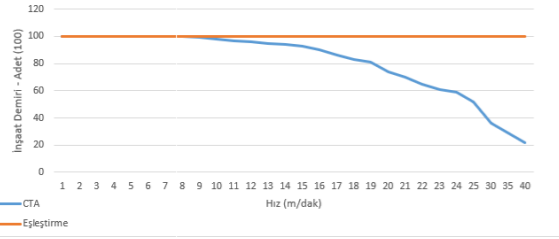


Şekil 8. 8 mm ve 32 mm çapındaki yuvarlak çelik çubukların tespit edilmesi.

Çemberler şeklinde tespit edilen nesnelerin merkezleri ve bu merkezlerin kartezyen koordinattaki x ve y değerleri nesnelerin çapından bağımsız olarak alınmaktadır. Bu deneysel çalışmada kullanılan iki sayma algoritması da

nesnelerin merkezleri üzerinden gerçekleştirildiği için sayım doğruluk oranlarında herhangi bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Centroid Tracking Algoritması ile yapılan çalışmalarda, 8 m/dak hat hızına kadar sayım doğruluğunda herhangi bir hata olmadığı fakat hat hızının bu seviyeden itibaren arttıkça sayım doğruluk oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 9'da hat hızının 1 m/dak ile 40 m/dak arasında değiştiği durumlarda 100 adet yuvarlak çelik çubuğun iki farklı sayma algoritmasındaki sayma miktarları gösterilmektedir.



Şekil 9. 100 adet nesnenin hat hızına bağlı olarak sayma miktarları.

Şekil 9'dan da görüleceği üzere Eşleştirme ile Sayma Algoritmasında herhangi bir hata bulunmazken ÇTA ile yapılan sayma işlemlerinde hat hızına bağlı olarak sayma oranları düşmektedir. ÇTA ile yapılan sayma işlemlerinde 8 m/dak hızından itibaren meydana gelen bu hataların sebebi algoritmada kullanılan yazılımın hat hızına göre daha yavaş kalmasıdır. Çünkü her ne kadar FPS değeri artırılarak görüntü işleme yapılsa da ÇTA'daki bir döngünün bu hıza yetişemediği tespit edilmiştir.

Eşleştirme ile Sayma Algoritması, inşaat demirlerinin sayımında kullanılan özel bir sayma algoritması olarak çıkmıştır. Bu yöntem ile yapılan çalışmalarda, çemberlerin doğru tespit edilmesi sonucunda sayım doğruluğunda herhangi bir hata olmadığı gözlemlenmiştir.

## 5. Sonuç

Bu haliyle ÇTA'nın daha uzak mesafelerden daha yavaş nesnelerin sayılmasında kullanılmasının daha doğru olduğu düşünülmektedir. ÇTA ile yuvarlak çelik çubukların sayılmasında 8 m/dak hat hızından daha yüksek hat hızlarında sayım doğruluk oranını arttırmak için yazılımın CPU üzerinden gerçekleştirilmesi yerine GPU üzerinden gerçekleştirilmesi ya da FPGA modülü kullanılarak daha hızlı görüntü işleminin yapılacağı öngörülmektedir.

Eşleştirme ile Sayma Algoritmasıyla çalışmalar yapıldığında yazılımın daha hızlı olması ve algoritmanın yatay eksenle ilerleyen nesnelerin sayılmasına uygun olması nedeniyle sayımın doğruluğunda herhangi bir hata olmadığı görülmüştür.

## Referanslar

- [1] Y. Zhang, M. Jiang, Y. Wu and X. Zhou, An Automatic Rebar Splitting System Based on Two-level of The Chain Transmission, 2015 IEEE International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 8-12 June 2015, Shenyang, China.
- [2] Z. Su, K. Fang, Z. Peng and Z. Feng, Rebar Automatically Counting on the Product Line, 2010 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing, 10-12 December 2010, Shanghai, China.
- [3] M. R. Ablidas, A. Monsura, L. A. Ablidas, J. D. Cruz, An Application of Image Processing Technology in Counting Rebars as an Alternative to Manual Counting Process, International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology, 2019.
- [4] Z. Nie, M. H. Hung, J. Huang, A Novel Algorithm of Rebar Counting on Conveyor Belt Based on Machine Vision, Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, March 2016.
- [5] <<https://www.pyimageobject-tracking-with-opencv/>> Tarih: 23.02.2022.
- [6] <[https://docs.opencv.org/3.4/db/d8e/tutorial\\_threshold.html](https://docs.opencv.org/3.4/db/d8e/tutorial_threshold.html)> Tarih: 28.02.2022.
- [7] <[https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial\\_py\\_filtering.html](https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial_py_filtering.html)> Tarih: 28.02.2022.
- [8] <<https://www.pyimageobject-tracking-with-opencv/>> Tarih: 28.02.2022

## Zenginleştirilmiş Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Köpürtme Yöntemi ile İzole İnşaat Tuğla Geliştirilmesi

Development of Insulated Construction Brick by Foaming Method From Enhanced Electric Arc Furnace Slag Waste



Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Sinan ARAS  
MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları - Türkiye

### Abstract

Although there are many studies conducted for EAF slags today, there is no mass evaluation by steel companies for the conversion of slags into value-added products. In steel plants, slags that cannot be evaluated with increasing production every year are increasing and causing high inventory costs. In the study, it is aimed to develop a low-density lightweight construction brick based on EAF slag, which can be mass produced and needs constant consumption.

EAF slags have a high density due to the presence of iron and iron oxide in their chemical composition. The presence of a high amount of metallic iron and iron oxide phases in the composition of light brick negatively affects its heat conduction and sound insulation properties. Therefore, by crushing and grinding the EAF slag taken from the factory site, the metallic iron and iron phases were liberalized. The ground slags were passed through magnetic separators and the proportion of iron in the chemical composition was reduced. Light isolated concrete production was carried out with low volume weight by mixing with air entraining additives such as metallic Al and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> together with slags that have been enriched. The reduced volume weight has led to a decrease in the strength of light concrete along with an increased amount of pores in the main matrix. In order to increase the strength, water-reducing additives were used, and the optimum ratios were determined by regulating the rheological properties. Due to the presence of complex oxides in the chemical composition of EAF slag, standard aerated concrete production recipes have not been used and new mixture recipes have been designed. In the studies, special recipes were studied, including silica sand with air entrainment additives, reference and EAF slag. In light concrete works containing 68% EAF slag, a light concrete brick with a volume weight of 0.72 g/cm<sup>3</sup> and cold-pressing strength of 15.73 kg/cm<sup>2</sup> was obtained after the curing process of low-water castings. Thermal conductivity, ultrasonic tests and microstructure studies were performed on the light bricks developed.

### Özet

EAO (Elektrik Ark Ocağı) cürufu için günümüzde çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen cürufun, katma değerli ürüne dönüştürülmesi için çelik firmaları tarafından kitlesel değerlendirme yapılmamaktadır. Çelik tesislerinde, her yıl artan üretimle beraber değerlendirilemeyen cürufun artışı göstermekte ve yüksek envanter maliyetine neden olmaktadır. Yapılan çalışmada, kitlesel üretim yapılabilecek ve sürekli tüketim ihtiyacı olan EAO cürufu esaslı düşük yoğunluğa sahip hafif inşaat tuğlası geliştirilmesi hedeflenmektedir.

EAO cürufu kimyasal bileşiminde bulunan demir ve demir oksit varlığı nedeni ile oldukça yüksek yoğunluğa sahiptirler. Hafif tuğla bileşiminde yüksek miktarda metalik demir ve demir oksit fazlarının varlığı ısı iletim ve ses yalıtım özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle sahadan alınan EAO cürufunu kırma ve öğütme işlemleri yapılarak metalik demir ve demir fazlarının serbestleşmesi sağlanmıştır. Öğütülen cürufun manyetik seperatörlerden geçirilmiş ve kimyasal bileşimdeki demir oranı azaltılmıştır. Zenginleştirme işlemi yapılmış cürufularla beraber metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi hava sürükleyici katkıları ile karıştırılarak düşük hacim ağırlığında hafif izole beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Azalan hacim ağırlığı, ana matriste artan gözenek miktarıyla beraber hafif betonun mukavemetinin de azalmasına neden olmuştur. Mukavemet artışının sağlanması için su oranı azaltıcı katkıları kullanılmış ve reolojik özellikler düzenlenerek optimum oranlar tespit edilmiştir. EAO cürufu kimyasal bileşiminde karmaşık oksitler bulunması nedeni ile standart gaz beton üretim reçeteleri kullanılmamış olup yeni karışım reçeteleri tasarlanmıştır. Çalışmalarda, hava sürükleyici katkıları silis kumlu referans ve EAO cürufu olmak üzere özel reçeteler çalışılmıştır. %68 EAO cürufu içeren hafif beton çalışmalarında, düşük oranda su ile yapılan dökümlerin kütleme işlemi sonrasında hacim ağırlığı 0,72 gr/cm<sup>3</sup> ve soğuk basma dayanımı 15,73 kg/cm<sup>2</sup>'ye sahip hafif beton tuğlası elde edilmiştir. Geliştirilen hafif tuğlalara ısı iletkenlik, ultrasonik testler ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

## 1. Giriş

Son yıllarda EAO cüruf atıkları, demir çelik firma sahalarında miktarlarının artmasıyla beraber envanter maliyeti ve çevresel etkileri nedeniyle büyük problem arz etmektedir. Ülkemizde bilindiği üzere 2020 yılında 34 milyon ton çelik üretimine karşılık gelen yaklaşık 5.000.000 ton genç EAO cüruf atıkları çelik tesisi içinde yaşlı cüruflarla eklenerek yerini almaktadır [1]. Demir çelik firmaları ellerinde bulunan cürufların tamamını bertaraf edemeden devam eden üretimle birlikte sahadaki cürufların miktarı günden güne artmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmada, EAO cüruflarından hidrolik bağlı hafif beton prekast inşaat tuğlası geliştirilmesi amaçlanmıştır. EAO cüruf atıklarının ülkemizde inşaat sektöründe sürekli ihtiyaç arz eden izole hafif beton tuğla üretiminde kullanılarak yüksek katma değeri olan ürün elde edilmesi hedeflenmiştir.

Gaz betonlar; kalsiyum silikat hidrat olarak isimlendirilen kireç, çimento ve kuvarsın karışımından meydana gelmektedirler. Gaz beton üretiminde yapılacak Ar-Ge çalışmalarında ana matrisi oluşturan kuvars yerine EAO cürufu kullanılmıştır. Kuvars yüksek orandan SiO<sub>2</sub> içermesi nedeni ile gaz beton içinde gözeneklerin etrafında çimentoyla beraber homojen bir yapı olmasını sağlamaktadır. Kuvars yerine kullanılacak olan EAO cürufu kimyasal bileşiminde yüksek oranda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO oranıyla beraber MnO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> oksitleri bulunmaktadır. EAO cürufu karmaşık oksit yapısı nedeni ile kuvarsa kıyasla hafif beton içerisinde gözenekleri etrafında daha kompleks bir faz oluşumuna neden olmaktadır. Zenginleştirme sonrasında cüruf bileşimde kalan çeşitli demir oksit fazları gözeneklerin etrafında ısı ve ses iletim özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada büyük gözeneklerden ziyade mikro gözenek elde edilmesi ısı ve ses yalıtımı özelliklerini geliştirilmesi için önem arz etmektedir. Kimyasal bileşimde bulunan MgO oranının yüksek olması gaz betonlarda genişlemeye neden olup çatlak oluşumunu tetiklemektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada, gaz beton standart reçete bileşimi yerine daha çok EAO cürufu tüketilebilecek yeni özgün reçeteler üzerinde çalışılmıştır. Gaz beton bileşiminde genişlemeye neden olan alçı ve kireç reçeteden çıkarılmış yerine EAO cürufu kullanılmıştır. Kireç ve alçı taşı genişlemeye sebep olmakla birlikte ekzotermik reaksiyonlar oluştururlar. Bunun sonucunda oluşan ısı, ana matriste metalik Al pastaanın da reaksiyona girmesini sağlar. Ana matriste kireç ve alçı taşının olmaması yeterli sıcaklık sağlanamayacak ve metalik Al pastaanın reaksiyonları daha yavaş gerçekleşeceği öngörülmektedir. Reaksiyonların gaz beton bileşimine göre daha yavaş olması mikro gözenek elde edilmesini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Gaz beton bileşiminde kullanılan kuvarsın hacim ağırlığının EAO cürufuna göre daha düşük olması kuvars ile hafif beton üretiminin daha kolay olduğu göstermektedir. Kullanılan silis kumunun üretilen gaz betonda olumsuz özelliği ise su emme özelliğinin yüksek olması ve nem almasıdır. EAO

cürufunun yüksek hacim ağırlığı ve düşük poroziteye sahip olması nedeniyle su emme ve nem tutma gibi özelliklerinin kuvars ile üretilen gaz betona göre daha iyi olacağı düşünülmektedir. Cürufların hacim ağırlığının yüksek olması, gaz betonlardaki 0,4 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip hafif beton tuğla yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, kendine özgü hacim ağırlığı ve mukavemet değerleriyle birlikte EAO cüruf esaslı demir-çelik atığından üretilen yeni bir ürün el edilmiştir.

EAO cürufunun kimyasal bileşiminde bulunan demir oksit bileşimi, gaz betonun ısı iletkenliğini ve hacim ağırlığını arttırması nedeni ile istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle EAO cürufları manyetik seperatörden geçirilerek demir oksit oranı azaltılması sağlanmıştır.

Gaz beton bileşim oranlarında meydana gelen değişimler;

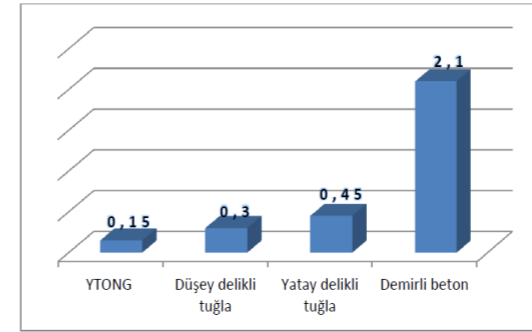
Yanmış kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan yüksek ısı ile alüminyum tozunun reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarmasına sebep olmaktadır. İnce toz taneleri halindeki alüminyum tozunun açığa çıkardığı bu gaz taneçikleri, gaz beton döküm hamurunun kabarmasına ve ana özelliği olan mikro gözenekli yapısına kavuşmasını sağlamaktadır [2]. EAO cürufu kullanılan karışımlarda reçetede kireç olmadığı için ana matris içinde sadece çimento kullanımı ile ekzotermik reaksiyonların gerçekleşmesi sonucunda metalik Al tozunun reaksiyonunun daha kontrollü ve yavaş gerçekleşmesi sağlanmıştır. Kireç kullanılmaması ve düşük ısıda metalik Al tozunun daha yavaş reaksiyon vermesi ile mikro gözenek oluşumu sağlanmıştır. Standart üretim yapılan gaz betonlarda gözenek boyutu 0,5 cm'yi geçmemesi için kullanılan metalik Al pasta oranı ve proses süreleri homojen bir köpürme için çok önemlidir. Gözenek boyutu, metalik Al katkısı artışı ile orantılıdır.

Hazırlanan beton karışımlarının metalik Al pasta eklenmeden önce karışımın viskozite değerinin 25 Cp olması gereklidir [3]. İstenilen viskozite değeri ayarlanmadığı takdirde yüksek viskozite değerinde meydana gelen hava boşluklarının yüzeye çıkması daha zor olacaktır. Viskozitesi yüksek ağır harç tabakası altında biriken hava boşluklarının H<sub>2</sub> gazıyla beraber yukarı doğru yaptığı basınç kabarma esnasında yırtılmaları neden olacaktır. Hava boşluklarının ve ağır tabakanın birbirinden ayrıldığı ve segregasyon meydana gelen bölgelerde tabakalar halinde ayrılmalar meydana gelmektedir. Akışkanlığın yüksek olduğu durumlarda gaz çıkışı kolay olmakla beraber su oranının yüksek olması nedeniyle gözenek etrafında meydana gelen hidrolik bağ çok zayıf olmaktadır. Viskozitenin düşük olması mukavemet değeri ve gözenek boyut değişimlerini yakından etkilemektedir. Akışkanlığın yüksek olduğu durumda yüksek su oranı ve zayıf hidrolik bağ beraberinde mukavemet dayanımın azalmasına neden olur. Bu nedenle harç sisteminde

kullanılan metalik Al pasta oranı ve proses esnasında karıştırma ve akışkanlık oranları optimize edilmelidir.

Gaz beton karışımlarında bağlayıcı olarak portland çimentosu kullanılmaktadır. Kullanılan çimentonun blanc değeri çok önemli olup bu değer artması durumunda mukavemet değerini olumlu etkileyecektir [4].

Gaz betonlarda ısı iletim katsayısı λ=0,26 W/mK iken multiporlu gaz betonlarda λ =0,044 W/mK olması gerektiği belirtilmiştir [5]. Bu oran EAO cürufundan gelen yüksek demir oksit oranına bağlı olarak referans değerden daha yüksek çıkması beklenmektedir. Yüksek demir oksit içeren hafif betonların üretiminde geliştirilen metotlarla beraber elde edilecek mikro gözeneklerin ısı iletim hızını azaltacağı tahmin edilmektedir. Şekil 1'de TS 2511 standardından alınan farklı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir.



Şekil 1. Bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları [5].

Gaz beton üretiminde element ve oksitlerin etkileri;

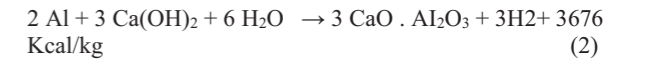
Standart gaz beton bileşimlerinde MgO oranının %1 geçtiği zaman genişleme problemi meydana gelmektedir. Kullanılması planlanan EAO cüruflarında MgO oranı %1,5-%2 arasında değişim göstermektedir. EAO cüruflarına yapılan faz analizlerinde MgO spinel ya da vüstit fazlarında stabil olarak bulunduğundan genişleme üzerinde etkisi olmayacağı düşünülmektedir. Numunelerde meydana gelen genişlemeler istenilen sınır değerlere uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Ticari ürünlerde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün %2'yi geçmemesi istenmektedir. Kullanılacak EAO cürufunda kimyasal analizinde ağırlıkça yaklaşık %8-%12 arasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunmaktadır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının yüksek hacim ağırlığına sahip olması tuğla hacim ağırlığını ve ısı iletkenlik değerini olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir.

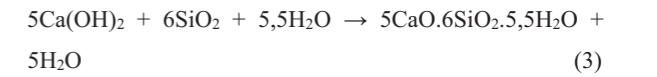
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün %2'yi geçmemesi gerektiği ve ısı iletkenlik değerini olumsuz etkileyeceği bildirilmiştir. EAO cüruf kimyasal bileşiminde %25-%35 arasında yüksek oranlarda FeO (vüstit), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Manyetit) ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematit) fazı bulunmaktadır. Yüksek demir oksit oranı için zenginleştirme yöntemleri ve pilot ölçekli üretim prosesinde çalışmalar

yapılmıştır. EAO cüruf numunelerine yapılan mikroyapı incelemelerinde kırma ve öğütme çalışmaları sonrasında -300 mikron altında hematit ve manyetit fazlarının serbestleştiği tespit edilmiştir. Manyetik seperatörlerde yapılan zenginleştirme sonrasında kimyasal analiz Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının %20 altına azaltılması hedeflenmiştir. Demir oranının, normal gaz beton referans numuneye göre yüksek olması ısı iletkenliği olumsuz etkileyeceği öngörülmektedir. Referans numune muadiline göre hacim ağırlığı azaltma çalışmaları ile mikro gözeneklerin sayısı artırılarak ısı iletkenlik azaltılması öngörülmüştür. Yapılacak tuğla; gaz beton özelliklerine yakın, EAO cürufu esaslı mikro gözenekli ve hafif tuğla olacaktır. EAO cüruf esaslı yapılacak hafif tuğla için ses yalıtımın istendiği fakat ısı yalıtımın istenmediği iç yapı duvarlarında kullanılabilir.

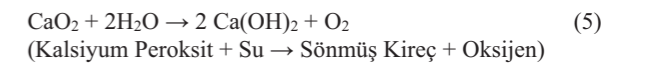
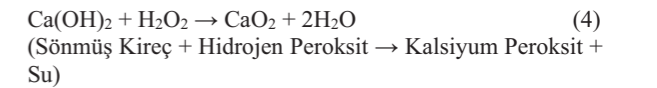
Cr<sup>+5</sup> olması çimento reaksiyonlarını olumsuz etkilediği için mukavemetin azalmasına neden olmaktadır. EAO cürufunda kimyasal bileşiminde ağırlıkça %1,84 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunmaktadır. Cüruf bileşiminde bulunan kromun oksit fazında ve kararlı bir fazda bulunduğu için mukavemet üzerinde olumsuz etkisinin olmayacağı düşünülmektedir. Metalik Al tozunun çimento ile reaksiyonları aşağıda verilmiştir [6].



(Alüminyum Tozu + Kireç + Su → Trikalsiyum Hidrat + Hidrojen )



Boşluk oluşum mekanizması açısından hidrojen peroksit ve metalik Al pasta benzer özellikler göstermektedir. Ancak beton içindeki gözenek oluşumu, hidrojen peroksitin kimyasal yapısında bulunan zayıf oksijen bağları nedeniyle oluşan ikili reaksiyon sonucunda gerçekleşmektedir ve bu reaksiyonlar aşağıda verilmiştir [7].



Yoğunluğun daha az olması, mikroskobik hava kabarcıklarının fazla olmasından kaynaklanmasına karşın bu durum malzemede daha yüksek ısı direnç özelliklerinin olmasını sağlar.

EAO cürufu kimyasal bileşiminde karmaşık oksit yapısı ile gaz betonun standart üretimini olumsuz etkileyen oksitleri yapısında bulundurmaktadır. Bu nedenle yapılacak çalışmada normal gaz beton reçeteleri kullanmak yerine metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hava sürükleyici katkıları kullanılarak



EAO cürufu esaslı yeni reçete bileşimleri ve gaz betondan farklı pilot ölçekli hazırlama prosesleri çalışılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda gaz beton üretiminde kullanılan hammaddeler ve katkı maddeleri esas alınmış olup, üretim için değerlendirilmesi planlanan malzeme EAO cürufu atığı olduğu için farklı sistemler geliştirilmiştir. Çalışılan üretim sistemlerinde alçı taşı kullanımı reçete bileşiminden kaldırılmış olup yeni sistemin EAO cürufu, hidrolik bağlayıcılar ve hava sürükleyici amaçlı köpürtücüler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan reçete bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Hava sürükleyici olarak metalik Al pastası ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılmıştır. Referans olarak EAO cürufu yerine silis kumu kullanılmış aynı şartlarda optimize edilen karışımlar hazırlanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 1.EAO cürufu kullanılan reçete bileşimleri

	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3	Reçete 4
Ana Hammadde	Silis kumu	EAO Cürufu	Silis Kumu	EAO Cürufu
Bağlayıcı	Çimento	Çimento	Çimento	Çimento
Katkı	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Metalik Al	Metalik Al

### 2.1. Başlangıç malzemeleri kimyasal analizleri

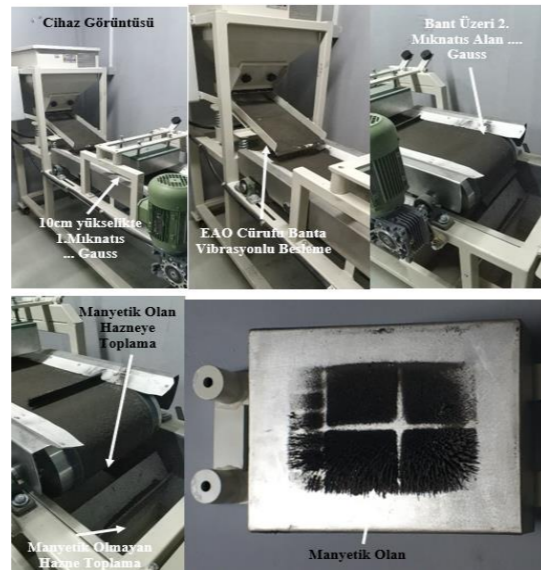
Çalışmalarda kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri Çizelge 2'de verilmiştir. Kullanılan EAO cürufunun kimyasal analizinde saf silis kumundan farklı birçok karmaşık oksit bulunmaktadır. Gaz beton üretim prosesini olumsuz etkileyen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CrO<sub>3</sub> vb. oksitlerin bulunduğu tespit edilmiştir. EAO cürufunun karmaşık olan kimyasal analiz yapısında bulunan farklı oksitlerin üretimi olumsuz etkileyeceği için EAO cürufuları kullanılarak mikro gözenekli beton üretimi için farklı karışım prosesleri geliştirilmiştir.

Çizelge 2. Hammaddelere yapılan kimyasal analizler.

Element, %	EAO Cürufu	Silis Kumu	Beyaz Çimento
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,47		4,05
SiO <sub>2</sub>	15,17	98,69	21,6
CaO	28,01	0,58	65,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,84		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,42	0,64	0,26
MnO	3,73		
K <sub>2</sub> O	0,01		
MgO	1,78		1,3
Na <sub>2</sub> O	0,42	0,02	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5	0,01	
S	0,09		3,3
TiO <sub>2</sub>	0,43	0,02	

### 2.2.Reçete hazırlama

Çalışmalarda İÇDAŞ ÇELİK Enerji Tersane ve Ulaşım Sanayi. A.Ş cüruf sahasından alınan EAO cürufu kullanılmıştır. Sahadan alınan 300 kg cüruf numunesi inşaat mikseri içine alınmış ve 5 dakika karıştırılarak homojen duruma getirilmiştir. Homojen karışım sağlanmış cüruf numunesine kimyasal analiz yapılmış ve sonrasında halkalı değirmende 180 saniye boyunca öğütülerek toz haline getirilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarda çimento, köpürtücü ajan ve cürufun toz duruma getirilmesi meydana gelecek reaksiyonlar açısından oldukça önemli olduğu belirtilmiştir. Öğütme sonrasında serbestleştirilen EAO cüruf granülleri cevher hazırlama laboratuvarlarında bulunan manyetik seperatörden geçirilmiştir. Zenginleştirme işlemi sonrasında cüruf bileşimindeki metalik demir ve demir oksit oranları azaltılmıştır. Şekil 2'de EAO cürufu zenginleştirme işlem kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Manyetik seperatör zenginleştirme işlemleri.

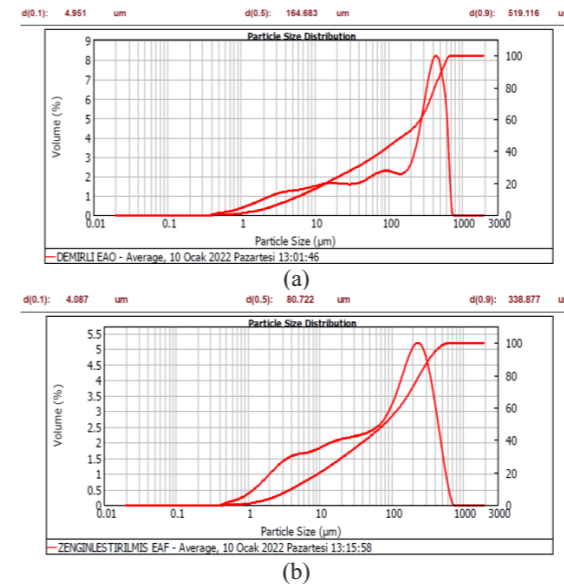
Toplam 10 kg öğütülen EAO cürufu manyetik seperatörden geçirilerek zenginleştirme işlemleri uygulanmıştır. Çizelge 3'te zenginleştirme sonrası manyetik ve manyetik olmayan olarak sınıflandırılan malzeme miktarları verilmiştir.

Çizelge 3. Zenginleştirme öncesi ve sonrası elde edilen EAO cüruf miktarları.

Zenginleştirme Öncesi	Zenginleştirme Sonrası		
	Beslenen	1.Mıknatis	2.Mıknatis
10000 gr	600 gr	330 gr	8800 gr
100%	6%	3,30%	88%

Zenginleştirme sonrasında yapılan kimyasal analizlerde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı %37,42'den %29,2 kadar azaltılmıştır. Yapılan zenginleştirme işlemleri özellikle oksit bazlı demirler haricinde metalik olan demirler cüruf bileşiminden

uzaklaşması ve gaz beton içinde segregasyon meydana gelmesi önlenmesi amaçlanmıştır. Manyetik seperatörden geçirilen ve öğütülmüş EAO cürufu tozlarına ortalama tane boyutu ölçüm testi yapılmıştır. Zenginleştirme öncesi yapılan ortalama tane boyutu ölçümü EAO cürufunun halkalı değirmende %90'nının 519 µm kadar öğütülebildiği tespit edilmiştir. Zenginleştirme sonrasında demir oksitlerin azalmasıyla beraber ortalama tane boyutunun %90'nının 338,9 µm boyutunda olduğu belirlenmiştir. Yapılan partikül boyutu analizinde EAO cürufunda bulunan metalik demir ve oksitlerin öğütülebilirliği engellediği ve daha yüksek ortalama tane boyutuna sahip olmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Manyetik seperatörle zenginleştirme sonrasında %90 oranında EAO cürufunun 519,1 µm'den 338,9 µm tane boyutunun azalmıştır. Şekil 3'te EAO cüruflarına yapılan partikül boyut analizinin zenginleştirme öncesi ve sonrası değerleri verilmiştir.



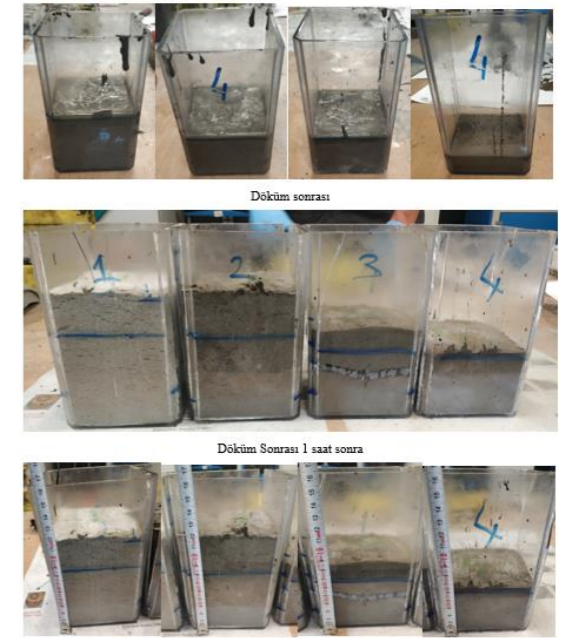
Şekil 3. Halkalı değirmende öğütülen EAO cürufu ortalama tane boyutu (a), Seperatörden geçirilmiş zenginleştirilmiş EAO cürufu(b).

### 2.3.Numune Hazırlama

Deneysel çalışmalarda orijinal silis kumu kullanılan referans 1 nolu reçete ile başlanmıştır. Reçete bileşiminde hesaplanan silis kumu, bağlayıcı çimento ve katkı ajanları homojen şekilde kuru karışım hazırlanmıştır. Çalışmalarda, önceden Marsh konisi ile elde edilen akış sürelerine göre karışıma su verilmiş ve karışım homojen duruma geldiğinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> harc karışımı içine ilave edilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi sonrası 40 saniye karıştırma işlemi yapıp mukavemet testleri için ASTM C133 standardına uygun olarak 5x5x5 cm küp kalıplar içine döküm yapılmıştır. Mikser içine kalan harc karışımı hacim değişimlerinin incelenmesi için şeffaf kalıp içine döküm yapılmış ve köpürmeye bağlı meydana gelen hacimsel

genleşme değeri ölçülmüştür. Yapılan reçetelerin tamamı aynı sürelerde yapılırken sadece kullanılan hammaddeler değiştirilerek döküm işlemleri yapılmış olup meydana gelen genleşme değişimleri görseli Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'te meydana gelen hacim değişimleri incelendiğinde, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak yapılan dökümlerde hacim genleşmesine bağlı kabarmanın çok iyi olmasına rağmen metalik Al kullanılan reçete 3 ve reçete 4 bileşimlerinde kireç kullanılmadığı için yeterli genleşmenin meydana gelmediği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Hacimce meydana gelen köpürmeye bağlı genleşme değişimleri.

Metalik Al pasta kullanımı, gaz beton üretimlerinin vazgeçilmezlerinden olup gerekli gaz çıkışının meydana gelmesi ile köpürmenin sağlanması amacıyla ortam sıcaklığının yaklaşık 70°C'yi bulması gereklidir. Gaz beton üretiminde kullanılan kireç ve alçı taşının su-çimento ekzotermik reaksiyonları sonrasında açığa çıkan ısı, metalik Al'un reaksiyona girmesini sağlamaktadır. Gaz beton üretiminde alçı taşı ve kireç etkisi ile istenilen sıcaklık sağlanmakta olup gözenekler 1-5 mm arasında değişim göstermektedir [2]. Geliştirilecek cüruf esaslı hafif betonda yüksek demir oksit oranına bağlı yüksek ısı iletiminin azaltılması için gözenek boyutunun 0-2 mm arasında olması ve çoğunluğun -100 mikron altında olması sağlanmıştır.

### Mekanik ve fiziksel testler

Hafif betonlarda, çimento oranı yüksek olması ve numunenin dış yüzeyinin hava ile temas etmesinden dolayı hidrolik reaksiyonlar meydana gelir ve dış yüzey hızlı priz alırken iç bölgeler daha geç priz almaktadır. Bu nedenle dış yüzeyde hızlı priz almaya bağlı dökülmeler meydana gelmekte ve mukavemet kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle gaz beton üretiminde otoklav kullanılmakta olup 190 °C'de 11-12 bar basınçta 10 saat boyunca kürlenme işlemi yapılmaktadır [6]. Laboratuvar şartlarında, çalışan otoklav kullanımını yerine kürlenme işlemi yapılarak numune boyutunda küçük olması ile istenilen mukavemet değerine 3 gün sonunda ulaşılabilir. Deneysel çalışmalarda, hazırlanan karışımlar kürlenme tankına alınmış olup 50°C'de 3 gün boyunca kürlenme işlemleri yapılmıştır. Kürlenme sonrasında 110°C'de etüvde 1 gün boyunca kurutulan numunelere fiziksel ve mekanik test işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan test sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> katkılı EAO esaslı hafif beton fiziksel ve mekanik özellikleri.

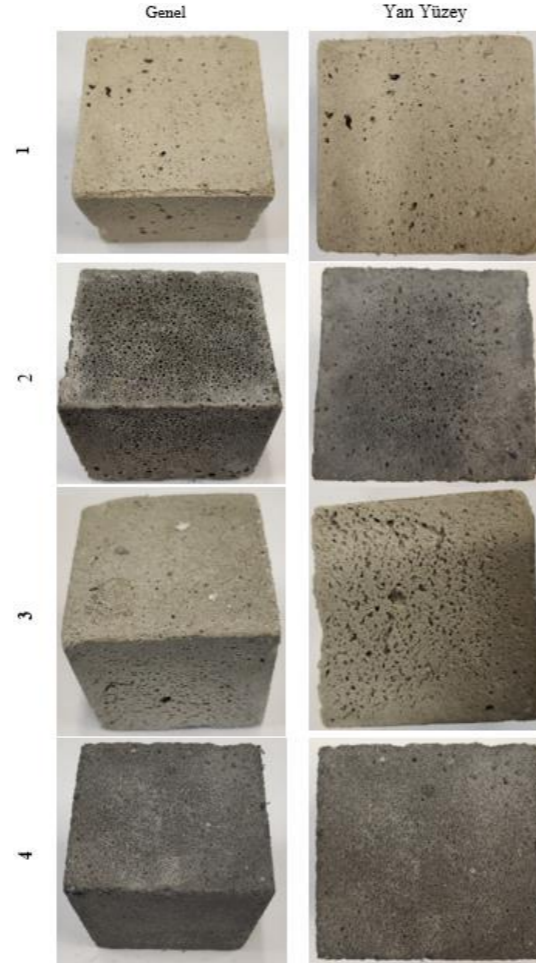
Test	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3	Reçete 4
Hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	0,737	0,728	1,08	1,103
Hacimsel Genleşme (%)	41,17	50	25	8,5
Soğuk Basma D.(kg/cm <sup>2</sup> )	9,95	15,78	36,7	87,65

Şekil 5'te kalıptan sökülen EAO cüruf esaslı hafif beton tuğla genel görüntüleri verilmiştir. Reçete 1 silis kumu ve kil içerikli tuğlada, hacim ağırlığı düşük olmasına rağmen dış yüzeyde meydana gelen gözeneklerde kapanmalar görülmektedir.

Reçete 2'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hava sürükleyici kullanılarak köpürtülen EAO cürufu esaslı karışımdan elde edilen hafif betonun 1mm'den küçük ve homojen dağılım gösteren gözenek oluşumu sağlanmıştır. Şekil 4'te silis kumu ile üretilen reçete 3 hafif beton numunesinde diğer numunelere göre viskozitesinin daha yüksek olması ve silis kumunun killi olmasına bağlı olarak gaz çıkışının sağlanamadığı ve heterojen bir gözenek dağılımının meydana geldiği tespit edilmiştir. Silis kumunun kil içermesi ve lifli bir yapıya sahip olmasından dolayı harç karışımında gaz çıkış yollarını kapamasıyla beraber homojen bir H<sub>2</sub> gaz çıkışına engel olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5'te silis kumu ile üretilen hafif betonun gaz çıkışını tam olarak sağlayamadığı ve yan yüzeyde oluşan gözeneklerin daha iri boyutta olduğu tespit edilmiştir. Reçete 4'te metalik Al ve EAO cürufu kullanılarak elde edilen numunede gözeneklerin homojen olarak dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hava sürükleyici katkılarıyla yapılan hafif betonlara yapılan mukavemet testi

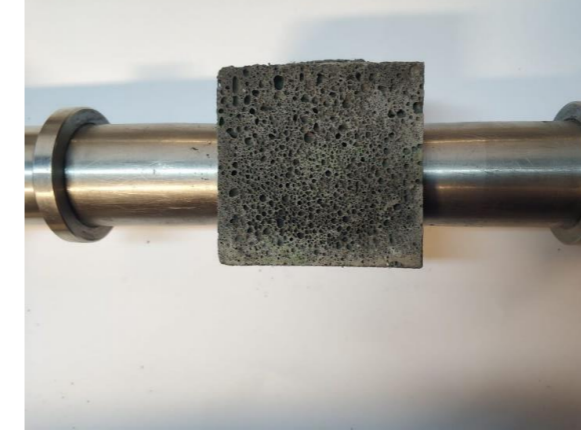
sonrasında kırık yüzeylerin mikro gözenekli homojen bir yapıda olduğu görülmüştür.



**Şekil 5.** Metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> katkılı hafif EAO cüruf esaslı betonların yüzey ve genel görüntüleri.

### Ses yalıtım testleri

Mekanik testler öncesinde, numunelerde EAO cürufunun hidrasyonundan kaynaklanan genleşmeye bağlı çatlak olup olmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 6'da 5x5x5 cm boyutlarında şekillendirme işlemleri yapılan küp numunelere kürlenme ve 110°C'de kurutma sonrası IP-8 Ultrasonic Multiplex Tester marka test cihazında ses dalgaları gönderilmiş ve ses iletim hızı tespit edilmiştir.



**Şekil 6.** Ultrasonik test cihazı ölçüm genel görüntüsü.

Çizelge 5'te hazırlanan reçetelerden elde edilen küp numunelere uygulanan ultrasonik test sonuçları verilmiştir. Yapılan testlerde farklı paralel yüzeylerden gönderilen ses dalgalarında alınan sayısal değerlere göre numune iç bölgesinde çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Reçete bileşimleri hammadde ve kimyasal bileşimlere bağlı olarak elde edilen gözenek boyutlarının 50 mm paralel yüzeyler arasında elde edilen ses iletim hızlarının farklı olduğu tespit edilmiştir. Ana numune bileşiminde kullanılan %68 orandaki EAO cürufu bileşiminde bulunan demir oksitler ses iletimini referanslara göre olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. En yüksek ses iletim hızının reçete 4'te 1879,8 m/s ve ses iletim süresinin 26,6 µs olduğu tespit edilmiştir. Reçete bileşiminde kullanılan kuvars ses iletim hızını 1066 m/s kadar azalttığı tespit edilmiştir. Reçete 1 ve reçete 2 hacim ağırlıklarının fiziksel olarak birbirine yakın olduğu ve numune içinde gözenek miktarlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Reçete 2'de kullanılan EAO cürufunun yüksek demir oksit içeriği nedeni ile ses iletim hızı reçete 1'e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan ultrasonik testlerde, ses iletim hızlarının EAO cürufu esaslı demir ve demir oksit oranları yüksek olan reçete 2 ve 4 numunelerin de silis kumlu dökümlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 5.** Ultrasonik testi ölçüm sonuçları

Test	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3	Reçete 4
Ses İletim Süresi (µs)	47,8	30,1	28,2	26,6
Ses İletim hızı (m/s)	1066	1650	1689	1879,8

### Isıl iletkenlik testleri

Ölçümler C-Therm Technologies marka TH89-05-00400 model iletkenlik cihazı ile yapılmıştır. Ürün özelliklerine göre numune çapı 25 mm, kalınlık 2 mm olacak şekilde numune hazırlanmıştır. Isıl iletkenlik ölçüm aralığı ise 0-10

W/(m.K) olduğu için bu aralıkta ölçüm gerçekleştirilir. Isıl iletkenlik, bir malzeme boyunca ısı akışının ölçüsüdür. Çizelge 6'da reçete 1 ve reçete 2'den hazırlanan numunelere yapılan ısıl iletkenlik test sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 6.** Isıl iletkenlik test sonuçları

Test	Reçete 1	Reçete 2
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,095	0,092

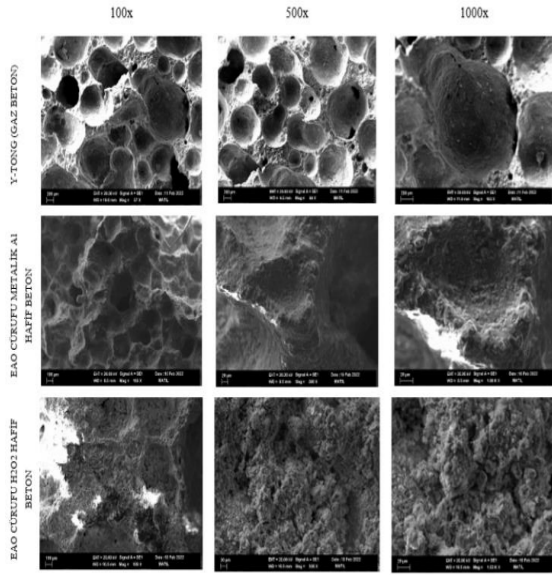
Reçete 1, silis kumundan yapılmış olup reçete 2'de değişen tek bileşen EAO cürufu olmuştur. Alınan sonuçların ısıl iletkenlik değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. EAO cüruf kimyasal bileşiminde her ne kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı yüksek olsa da ısıl iletkenlik üzerinde numune içinde köpürme sonrası oluşturulan mikro gözeneklerin daha etkili olduğu ve elde edilen sonuçların birbirine yakın olarak çıktığı tespit edilmiştir.

### Mikroyapı incelemeleri

Yapılan mukavemet testleri sonrasında numunelerin kırık yüzeylerde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı çalışmalarında Zeiss marka Evo MA 10 model elektron mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde çelik üreticilerinden temin edilen gaz beton ile laboratuvar ortamında üretilen EAO cüruf esaslı metalik Al ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hava sürükleyici katkıyla üretilmiş numune kırık yüzeyleri incelenmiştir. Üreticilerden temin edilen 0,4 gr/cm<sup>3</sup> hacim ağırlığındaki gaz betonun 300-800 mikron arasında değişen iri gözenekli ve homojen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. 1000 büyütmeye çıkıldığı zaman iri gözenekler üzerinde oluşan yaklaşık 10 mikron altında olan küçük gözenekler olduğu ve heterojen dağıldığı görülmüştür.

EAO cürufu esaslı reçete 2'den metalik Al ile üretim yapılan numune 100 büyütmedeki mikro yapısı referans ile benzerlik göstermektedir. 50-300 mikron arasında değişim gösteren homojen dağılmış gözenek yapısı elde edilmiştir. Reçete bileşiminde kireç ve alçı taşının olmaması reaksiyon ısısını 70°C'ye çıkmamasıyla birlikte EAO cürufu kompleks kimyasal yapısı gözenek boyutunun daha küçük olmasına neden olmuştur. 1000 büyütmeye çıkıldığı zaman büyük gözenekler üzerinde referansa göre çok küçük 1 mikron altında mikro gözeneklerin bulunduğu tespit edilmiştir.

EAO cürufu esaslı reçete 4'te H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile üretim yapılan numune 100 büyütmede kırık yüzeyinde mikro gözenekli yapı meydana geldiği görülmüştür. Büyük olan gözeneklerin 1000 büyütmede alınan görüntülerde 0-20 mikron arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 7'de yapılan SEM incelemelerinde metalik Al ile yapılan EAO cüruf esaslı hafif tuğla mikroyapısının referans numuneye benzerlik gösterdiği görülürken H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile yapılan cüruf esaslı tuğla mikroyapısının referans numuneye göre daha düşük boyutta gözenek içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Reçetelerin SEM görüntüleri

#### 2.4. Değerlendirme

Yapılan çalışmada %68 öğütülmüş EAO cürufu kullanarak gaz beton prosesleri dışında pilot ölçekli üretim yapılmış ve yeni üretim metodu geliştirilmiştir. Reçete 1'de orijinal silis kumu ile ısı iletkenlik ve ses yalıtım özellikleri için referans değerler alınmıştır. EAO cürufu ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak yapılan köpürtme sonrasında reçete 2'de 0,72 gr/cm<sup>3</sup> hacim ağırlığına kadar düşülmüştür. İlgili hacim ağırlığında 15,78 kg/cm<sup>2</sup> soğuk basınç dayanımı elde edilmiştir. Referans 1'de elde edilen hacim ağırlıkları aynı olmasına rağmen elde edilen mukavemet değerinin 9,95kg/cm<sup>2</sup> ile daha düşük olduğu tespit edilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak yapılan üretimde ilgili mukavemet değeri otoklav süreci olmadan 3 günlük kürlenme yapılarak elde edilmiştir. Çalışmada H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi yapılmadan önce ana bileşimdeki suyun minimum değere azaltılması ve gözeneklerin homojen dağılımının sağlanması için farklı katkıları kullanılmıştır. Reçete 1'de kullanılan silis kumu kile yakın özellik sergilemesi nedeni ile sistemde daha fazla su tutması ve mukavemetin daha düşük olmasına neden olmuştur.

#### 3. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda öğütülmüş EAO cürufunun ağırlıkça %68'i ile hafif beton tuğla üretilebileceği tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan EAO cürufu kimyasal bileşimi gaz beton bileşiminde kullanılan kuvars kumundan çok farklı olduğu ve istenmeyen oksitleri içerdiği için normal gaz beton üretiminden farklı proseslerle de üretmek mümkündür.

EAO cüruflarının hafif beton tuğla üretiminde kullanılabilmesi için oksit formunda olmayan metallerin manyetik seperatörlerde alınarak zenginleştirme yapılması gereklidir. Aksi halde ağır olan metalik demir üretilen hafif beton bileşiminde segregasyona neden olacaktır.

Isıl iletkenlik sonuçları referans numuneye yakın olup demir oksitlerin ısı iletkenliği, elde edilen mikro gözenekler ile etkisiz duruma getirdiği düşünülmektedir.

Yapılan ultrasonik testlerde demir oksidin sesleri referans numuneye göre daha iyi iletildiği ve elde edilen EAO cürufu esaslı izole tuğlanın ses yalıtımının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonunda, EAO cürufunun hidrolik bağlayıcı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> köpürtmesi ile 0,7 gr/cm<sup>3</sup> hafif prekast tuğla üretilmiştir. Üretilen EAO cürufu esaslı hafif tuğla üretiminde bilyalı değirmende öğütme prosesi ve manyetik seperatörde zenginleştirme yapılması gerekli olduğu için -300 mikrona kadar öğütülen EAO cüruf granüllerinden serbestleşen demir oksit ayrılarak çelik üretimine geri dönüşüm sağlanacağı ve mali olarak katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu sayede cürufun zenginleştirilen ve demirce zengin olan malzemeler ürüne ve geri dönüşüme kazandırılmış olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması için cüruf numuneleri sağlayan ve saha çalışmalarımızı destekleyen İÇDAŞ Çelik Enerji, Tersane ve Ulaşım A.Ş'ye teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] Demir Çelik Cüruf Raporu, Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015
- [2] UYSAL, M., GÜNDOĞDU, B.C. and SÜMER, M., Gazbetonun kuruma rötresine bağlayıcı malzeme miktarı değişiminin etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, (2012), 28(4), pp.303-308.
- [3] Kocakerimoğlu, F., Köpük beton üretiminde farklı mineral katkıların fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, Y. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2019, Afyon, TÜRKİYE
- [4] Çalışkan, E., Diatomitten atmosferik buhar kürrü yöntemi ile gazbeton üretimi, Y. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2015, Afyon, TÜRKİYE
- [5] TS 2511, Taşyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [6] Borhan, B., Ytong el kitabı-1, 1990, Türk Ytong Sanayi, TÜRKİYE
- [7] Memiş, S., Farklı katkı malzemeleri kullanılarak Erzurum-Pasinler pomzasıyla üretilen gaz betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2013, Erzurum, TÜRKİYE

## Elektrik Ark Ocağı Cüruf Atıklarından Yüksek Performanslı Pilot Ölçekli Refrakter İzole Beton Üretimi

High Performance Pilot Scale Refractory Insulated Concrete Production From Electric Arc Furnace Slag Waste



Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Okan AYDIN, Baycan KARABAĞ, Sinan ARAS  
MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları - Türkiye

#### Abstract

Insulated refractory concretes are widely used in all applications for insulation purposes (such as iron and steel, aluminum, cement) that require a high temperature of up to about 1100°C. The currently used isolated refractory concretes have low performance and service life due to their low strength. In the study, EAF slag, which poses a great problem as a waste for the iron and steel industry, was used as the main aggregate and high-strength isolated refractory concrete was obtained. Due to the free lime present in the chemical composition of EAF slags, they are hydrated over time, causing expansion in the granular state and the formation of cracks in the concrete composition. Therefore, the use of EAF slags in concrete compositions remains limited. In the study, a coating was developed for slag granules ground to a December of 0-6 mm, and coated grains were used in the main composition of isolated concrete. Physical, mechanical and microstructural studies were performed on the obtained isolated concretes. The refractoriness properties of the obtained product were compared with the concretes used in the market. As a result of the study, high-strength and low-cost isolated refractory concrete was developed using EAF slag waste.

#### Özet

İzole refrakter betonlar yaklaşık 1100°C'ye kadar yüksek sıcaklık gerektiren, izolasyon amaçlı tüm uygulamalarda (demir çelik, alüminyum, çimento gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Halihazırda kullanılan izole refrakter betonlar düşük mukavemetleri nedeni ile düşük performans ve kullanım ömrüne sahiptir. Yapılan çalışmada, demir çelik endüstrisi için atık olarak büyük problem teşkil eden EAO (Elektrik Ark Ocağı) cürufu ana agrega olarak kullanılmış ve yüksek mukavemetli izole refrakter beton elde edilmiştir. EAO cürufları kimyasal bileşiminde bulunan serbest kireç nedeniyle zamanla hidratize olarak granül halde genişlemeye ve beton bileşiminde çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle EAO cüruflarının beton bileşimlerinde kullanımı sınırlı kalmaktadır. Yapılan çalışmada 0-6 mm aralığına öğütülen cüruf granülleri için kaplama geliştirilmiş ve kaplanmış taneler izole beton ana bileşiminde kullanılmıştır.

Elde edilen izole betonlara fiziksel, mekanik, mikroyapısal incelemeler yapılmıştır. Elde edilen ürünün refrakterlik özellikleri ticari olarak kullanılan betonlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda EAO cüruf atıkları kullanılarak yüksek mukavemetli ve düşük maliyetli izole refrakter beton geliştirilmiştir.

#### 1. Giriş

Elektrik ark ocağı (EAO) cüruflarının demir çelik firmaları tarafından potansiyel birçok değerlendirme alanı vardır. Buna rağmen sahalarda bulunan stok yığınları için kesin çözüm bulunamamış olup bu yığınlar nakliye, envanter maliyetleri ve çevre problemlerine neden olmaktadır. Türkiye'de üretilen demir çelik miktarına bağlı olarak 5.000.000 ton/yıl çelikhane cüruf atığı oluşmaktadır [1]. Firmaların bir kısmı kurdukları kırma ve öğütme tesislerinde cüruf ve çelik hurdaları karışımlarını manyetik seperatörlerde ayırıştırıp geri dönüşüm sağlamaktadır. Kalan cüruflar ise yol inşaatı, kıyı liman dolgusu, balast malzemesi ve çimento sektöründe demir kaynağı olarak kullanım alanları bulmaktadır. Çelikhane cüruflarının bu kadar geniş kapsamlı değerlendirme alanları olmasına rağmen ülkemizde çelik üreticilerinin fabrika sahalarda cüruftan oluşan yığınlar olduğu ve tam bir değerlendirme yapılamadığı bilinmektedir.

İzole refrakter betonlar demir çelik endüstrisi başta olmak üzere ısı işlem ile üretim yapılan endüstri kuruluşlarında ısı yalıtım amaçlı olarak yoğun kullanım alanına sahiptirler. İzolasyon betonları, bileşiminde bulunan yüksek refrakterliğe sahip bileşenler ve hafifletici malzemelerle birlikte yüksek gözeneklilik ve yalıtım özelliğine sahiptirler. Genellikle fırınların çalışma astarının arkası, bacalar vb. gibi kullanım alanlarında yalıtım amaçlı olarak 500°C ile 1100°C arası sıcaklıkta kullanılmaktadırlar. Monolitik olarak yapılan üretim sonrası döküm, precast veya püskürtme yöntemlerine göre uygulama farklılıkları gösterirler. Döküm yolu ile üretilen refrakter izole betonlar, genellikle fırınların çalışma astarları üzerinde izolasyon amaçlı olarak kullanım alanı bulmaktadır. Püskürtme malzemesi olarak da kullanılan refrakter izolasyon betonlar, fırın bacaları içine kaynaklanmış ankrajlar üzerine püskürtme yapılarak 700°C-

800°C sıcaklıklarda çelikten yapılmış boruların ısıya karşı dayanımını artırmaktadır. Kısacası izolasyon betonları fırınların olduğu sanayi kuruluşlarında yalıtım amaçlı refrakter malzemeler yoğun olarak kullanım alanına sahiptir.

Çelik üretiminde BOF (Bazik Oksijen Fırını) ve EAO proses farklılığına göre cüruf hazırlama oranları değişim göstermektedir. BOF entegre sistemlerinde 1000 kg ham çelik üretmek için yaklaşık olarak 2000 kg demir cevheri, 1000 kg kömür, 500 kg kireçtaşı ve 180 kg hurda çelik kullanılmaktadır. EAO ile çelik üretiminde ise 1000 kg ham çelik üretmek için, 1250 kg hurda çelik, 16 kg kömür ve 64 kg flaks kullanılmaktadır [2-3]. Bu bileşim oranları ağırlıkça kendi içinde firmadan firmaya değişim göstermekte olup kireç yerine kullanılacak dolomit ve fluşpat gibi cüruf yapıcılar, cüruf kimyasal bileşimlerini ve mikroyapısını etkilemektedir. Yapılan çalışmada, refrakter üreticileri tarafından kullanılan yüksek maliyetli şamot hammaddesi yerine EAO cürufu kullanılmıştır. EAO granüllerinin, yapılan ön çalışmalarda özellikle refrakterlik (SK) testlerinde 1150°C'ye kadar kendini muhafaza ettiği ve bu sıcaklıkta çalışmaya imkân verdiği görülmüştür. EAO cürufu ile gerçekleştirilen çalışmanın avantajlarından birisi, kimyasal bileşimde bulunan yüksek demir oksit içeriği nedeni ile ısı iletkenliğinin azalmasıdır. Bu çalışmada ısı iletkenliğinin azaltılması amacı ile 0-6mm aralığında öğütülmüş cüruf granüllerinin yüzeyi fosfat esaslı seramik malzeme ile kaplanmıştır. Fosforik asit 900°C üzerinde fosfat bağı oluşturmuş [4] ve EAO cüruf granülleri üzerine uygulanan Ar-Ge kaplama malzemesinin bağ yapmasını sağlayarak koruyucu bir tabaka oluşturulmuştur. EAO cürufu üzerinde oluşturulan kaplama tabakası serbest CaO ve MgO ile suyun veya nemli havanın bağ yapmasını engelleyici tabaka oluşumunu sağlamaktadır. Kullanılan fosforik asit EAO cüruf yüzeyinde serbest CaO ve MgO ile meydana gelecek reaksiyonlar sonucunda hidratize olma durumu gerçekleşmemiştir. EAO cüruf granülleri yüzeyindeki kaplama bileşiminin fosfat bağı ile yapışması sağlanmıştır. 900°C-1150°C sıcaklıklarda EAO cüruf granülü yüzeyine bağ yapmış koruyucu bir tabaka oluşturulmuştur. Bu sayede kaplama tabakası çalışma esnasında beton bileşiminde bulunan su buharının CaO ve MgO ile reaksiyonları önleyici tabaka oluşturulmuştur. Kaplama aynı zamanda düşük sıcaklıklarda meydana gelen sinterleme ve faz dönüşümleri ile taneler arası bağ yapısını geliştirmiş ve mukavemet artışı sağlamıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmalara kullanılacak ana girdi malzemelerine kimyasal ve fiziksel analizler yapılarak başlanmıştır. Analizler sonrası hesaplanan reçete bileşimleriyle ASTM C974-87 standardına göre izole refrakter beton numune hazırlama işlemleri yapılmıştır. Hazırlanan numunelere 110°C ve 1100°C ısı işlem sonrasında fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Ultrasonik yöntemle çatlak kontrolleri yapılmıştır.

olup yüksek sıcaklıkta çalışma performanslarının belirlenmesi için refrakterlik ve ısı iletim testleri yapılmıştır.

### 2.1.Malzeme Analizleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelere yapılan fiziksel ve kimyasal analizler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kimyasal ve fiziksel analizler.

Element, %	EAO Cürufu	Şamot	Perlit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,47	44,46	13,01
SiO <sub>2</sub>	15,17	51,23	75,34
CaO	28,01		1,08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,84	0,03	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,42	1,41	1,11
MnO	3,73		0,05
K <sub>2</sub> O	0,01	0,55	5,09
MgO	1,78		0,2
Na <sub>2</sub> O	0,42		3,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5		
S	0,09		
TiO <sub>2</sub>	0,43	1,72	0,15
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,79	2,42	
Görünür Porozite (%)	2,60	8,32	

### 2.2.Reçete Hazırlama

Yapılan çalışmada, piyasada kullanılan refrakter izole beton reçetesi kullanılmış olup şamot hammaddesi yerine 0-6 mm kırılmış EAO cürufu granülü kullanılmıştır. Çalışmada ticari olarak kullanılan standart üretim (Reçete 1), kaplamasız cüruf kullanılan (Reçete 2) ve kaplanmış cüruf esaslı (Reçete 3) olmak üzere 3 reçete üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 2'de çalışmada kullanılan reçete bileşimleri verilmiştir

Çizelge 2. Reçete bileşiminde kullanılan malzemeler.

Hammadde (%)	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3
Şamot 0-5 mm	50		
EAO Cürufu 0-5 mm		50	50
Hafifletici malzemeler /Perlit	13	13	13
Hidrolik bağlayıcılar	25	25	25
Katkı Malzemeleri	12	12	8
Kaplama Malzemeleri			4

### 2.3.Harman Hazırlama

Hazırlanan reçetelerin birleşim oranlarına bağlı ağırlık tartımları alınmış ve bileşenler bir torba içinde homojen şekilde karıştırılmıştır. Kuru karışım olarak homojen karıştırılmış reçete 1, mikser içine alınmış ve artan oranda su verme işlemi yapılmıştır. %36 su oranına ulaşıldığı

zaman mikser içinde bulunan harç karışımına top testi yapılmış ve kalıp içine döküm için uygun kıvama geldiği tespit edilmiştir. Homojen şekilde hazırlanmış izole harç karışımı ASTM C 974-87 standardına uygun olarak 5x5x5 cm ölçülerine sahip kalıp içine dövme yapılarak uygulanmıştır. Döküm sonrasında kalıp içinde bulunan harcin 5 saat sonunda piriz aldığı tespit edilmiştir.

### 2.4.Fiziksel, Mekanik Testler ve Değerlendirme

Piriz alma işlemi tamamlanmış sertleşen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve etüv içine alınarak 110°C'de 24 saat boyunca sabit ağırlık tartımına gelene kadar kurutma işlemi yapılmıştır. Reçete 1'den hazırlanan izole beton numunesinin tekrar ağırlık tartımı ile boyut ölçümleri alınmış ve numuneye 1100°C'de Nüve marka kül fırın içinde 3 saat boyunca ısı işlem uygulanmıştır. Isıl işlem sonunda beton numunesinin kristal suyunun uzaklaşması ve kirlilik olarak bulunan organik maddelerin yanması sonucu %9,02 ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Meydana gelen ağırlık kaybı sonucunda hacim ağırlığının 1,19 gr/cm<sup>3</sup>'ten 1100°C'de 1,12 gr/cm<sup>3</sup>'ye kadar azaldığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde meydana 1100°C'de meydana gelen ağırlık kaybı ve perlitin yanması sonucunda referans numunenin %0,96 küçüldüğü tespit edilmiştir.

Reçete 2'de referans reçetede %50 oranında verilen şamot yerine 0-6 mm çeneli kırıcıda kırılan EAO cüruf granülü kullanılmıştır. Reçete 2'de döküm sırasında reçete 1 ile aynı su oranı uygulayıp reolojik özelliklerde değişim incelenmiştir. EAO cürufu bileşimindeki CaO ve MgO'nin hidrate olması sonucu şişme, ısı işlem sırasında metalik demir ve demir fazlarının numune yüzeyinden kusma kontrolleri yapılmıştır. Reçete 2'de döküm sırasında reolojik özelliklerde farklılık gözlenmemiştir. Cürufun şamota oranla daha yüksek hacim ağırlığına sahip olması nedeni ile referans reçetede 1,58 gr/cm<sup>3</sup> olan hacim ağırlığı EAO katkılı reçete 2 bileşiminde 1,62 gr/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Yapılan dökümler için reçete 1 ile reçete 2 arasında bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. 110°C'de 24 saat boyunca kurutulan numuneler arasında ağırlık kaybı ve birim hacim ağırlıklarının yakın olduğu görülmüştür. Her iki numune de döküm sonrası kalıptan çıkarılıp kurutularak incelenmiş ve çatlak tespit edilmemiştir.

Reçete 3'te ana bileşim içinde kimyasal bağlayıcı olarak kullanılan fosforik asit nedeni ile döküm sonrasında ve 1100°C'de ısı işlem sonrasında hacim ağırlığının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan fosforik asit ve geliştirilen kaplama malzemesi ile 1100°C'de yapılan testte mukavemet değerinin diğer numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Reçete 2'de sonucunda oluşan numunede %5,08 genleşmenin, demir kusmalarına bağlı olarak çatlak oluşumunun ve mukavemet azalmasının olduğu belirlenmiştir.

Geliştirilen kaplamalı reçete 3'te ise numunenin mukavemetinin reçete 2'ye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3'te başlangıç referans reçete ile reçete 2 ve reçete 3 dökümlerinin, 110°C'de kurutma ve 1100°C'de ısı işlem sonrası fiziksel değişim sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3. Fiziksel ve mekanik test sonuçları.

Durum	Test	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3
Döküm	Su (%)	%36	%36	%37
	Piriz süresi (dk)	300 dk	300 dk	almadı
	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,58	1,62	1,64
110°C	Ağırlık Kaybı (%)	15,70	16,24	20,95
	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,19	1,20	1,17
	S.B.M. (kg/cm <sup>2</sup> )	34,24	24,64	29,44
1100°C	Ağırlık Kaybı (%)	9,02	7,37	1,64
	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,12	1,04	1,16
	Lineer Genleşme (%)	-0,96	+5,08	-0,05
	S.B.M. (kg/cm <sup>2</sup> )	21,76	8,92	29,64
	Çatlak	-	+++	-
	Demir kusması	-	++++	+
	Kenar dökülmesi	++	++	-
-	Gözlemlenmemiş			
+	Oluşmaya başlamış			
++	Görülür			
+++	Yoğun şekilde görülür			

1100°C'de 3 saat uygulanan ısı işlem sonrasında EAO cüruf katkılı izole betonda demir ve demir oksitlerin dış yüzeye akarak kusma yaptığı tespit edilmiştir. Isıl işlemle beraber meydana gelen buhar basıncı ile Ca(OH)<sub>2</sub> ve Mg(OH)<sub>2</sub>'nin şişmesinin sonucu meydana gelen genleşmeye bağlı olarak numune yüzeyinde irili ufaklı birçok çatlak meydana geldiği görülmüştür. 1100°C'de reçete 1'de %0,96 küçülme gözlenirken reçete 2'de EAO cüruf numunesinin genleşme göstermesine bağlı olarak %5,08 lineer bir genleşme meydana geldiği tespit edilmiştir. Yüksek oranda meydana gelen genleşme değeri numune içinde bulunan gözenek miktarının artmasına neden olmuştur. Hacim ağırlığı reçete 1 referans numunede 1,12 gr/cm<sup>3</sup> gelirken EAO cüruf numunesinde 1,04 gr/cm<sup>3</sup> değerine azaldığı tespit edilmiştir.

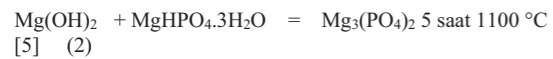
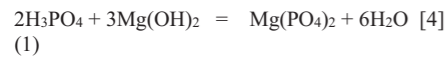
Reçete 2'de hazırlanan EAO cürufu kullanımı sonucu, yüksek sıcaklıkta  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'in oluşmasıyla numunenin şişmesi ile çatlak oluşumu gözlenmiş ve demir oksitlerin bu sıcaklıkta kusması sonucunda yüzeyde çıkıntı şeklinde tümsekler meydana gelmiştir.

Reçete 3 için yapılan çalışmada 0-6 mm tane boyutuna öğütülmüş EAO cüruf numuneleri için geliştirilen kaplama ile cüruf yüzeylerinin tamamen kaplaması sağlanmış ve işlem başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaplamanın döküm esnasında reolojik özellikler üzerinde olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir. Hazırlanan beton numunelerinde geliştirilen kaplamanın  $110^\circ\text{C}$  ve  $1100^\circ\text{C}$  ısıtım işlemi sonunda çatlakları engellediği tespit edilmiştir.

Kaplamanın cüruf tanelerini yüzeyini tamamen örtücü olması, hava, su ile temasın kesilerek  $\text{CaO}$  ve  $\text{MgO}$  'in hidratize olmasını engelleyici olması gerekmektedir. Aynı zamanda, kaplamanın  $1100^\circ\text{C}$ - $1250^\circ\text{C}$ 'de cüruf granülleri yüzeyinde meydana gelen sinterleme sonrası kalıcı kaplama oluşmuştur. Oluşan kaplama, buhar basıncına bağlı olarak meydana gelen serbest  $\text{CaO}$  hidratize reaksiyonlarını engellemektedir.

Reçete 3 bileşiminde fosforik asitin mikserle karıştırma esnasında granüllerin etrafını çevreleyip sarması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda fosforik asitin  $900^\circ\text{C}$  üzerinde sıcaklıklarda kabuk şeklinde film tabaka oluşturduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda fosforik asitin hidrolik bağıyla birlikte yüksek sıcaklıkta fosfat bağının oluşması, fosfat bağın izole betonun mukavemetini artıracak ve performans sağlayacağı düşünülmektedir. Fosforik asit aynı zamanda cüruf bileşiminde bulunan  $\text{CaO}$  ve  $\text{MgO}$  ile reaksiyona girerek  $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{K})$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  ve  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  fazları oluşmaktadır [4-5]. Oluşan bu fazlar hidratasyonu engelleyici davranış gösterirler.

Reaksiyonlar;



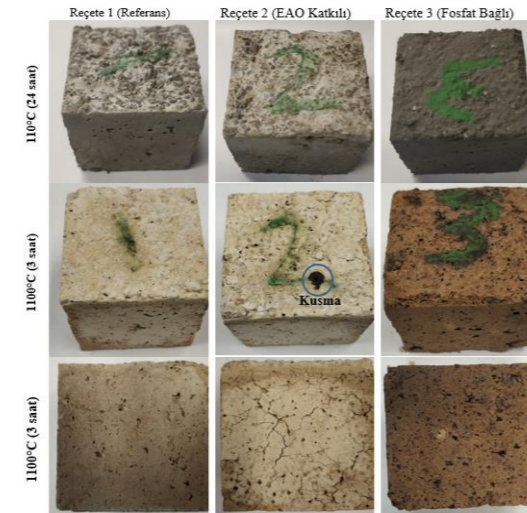
Şekil 1'de EAO cürufu kaplamalı ve kaplamasız genel görüntüleri verilmiştir. Şekil 1'de EAO cüruf taneleri tamamen siyah renkte olup fosfat kaplamanın homojen olduğu görülmektedir. Karışım üzerine beyaz renkli 100 mikron altına öğütülmüş kaplama ilavesi yapılmıştır. Mikserleme sırasında fosforik asit kullanımı sonrasında 3 dakika karıştırma sonunda EAO cüruf granülleri

üzerindeki fosfat kaplamanın üstü kaplama ile tamamen sarıldığı görülmektedir.



Şekil 1. Kaplama öncesi ve sonrası EAO cüruf granülleri.

Şekil 2'de 1-2-3 nolu reçetelerden hazırlanan refrakter izole betonların  $110^\circ\text{C}$  ve  $1100^\circ\text{C}$  ısıtım işlemi sonrasındaki genel görüntüleri verilmiştir. Döküm sonrası yapılan  $110^\circ\text{C}$ 'de kurutma işlemlerinde 1 ve 2 nolu numunelerin benzer görüntüde olduğu, 3 nolu numunenin ise fosforik asit katkılı olduğu için daha koyu renkte olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.  $110^\circ\text{C}$  ve  $1100^\circ\text{C}$  ısıtım işlemi sonrası genel görüntüleri.

$1100^\circ\text{C}$ 'de 3 saat ısıtım işlemi sonrasında 2 nolu numunede genişlemeye bağlı çatlaklar meydana geldiği tespit edilmiştir. ısıtım sırasında izole beton bünyesinde bulunan kristal suyun artan buhar basıncıyla beraber EAO cüruf granülüne difüzyonu gerçekleşmiş, bunun sonucunda meydana gelen genişlemeye bağlı olarak çatlakların oluştuğu düşünülmektedir.  $1100^\circ\text{C}$ 'de 3 saat ısıtım işlemi sonrasında 2 nolu numunede demir metali ve demir oksitlerin dış yüzeye kusması sonucu oluşan görüntü verilmiştir. 3 nolu numunede yüzeyde çatlak

oluşumu ve demir kusmalarına rastlanmamış olup geliştirilen kaplamanın başarıya ulaştığı görülmektedir.

## 2.5. Isıl İletkenlik Testleri

Ürün özelliklerine göre minimum numune çapı 25 mm olacak şekilde numune hazırlanmıştır. Kalınlık ise köpük için minimum 2, polimer için, seramik için 5 mm ve metal için 5-12 mm arasında olacak şekilde numune uygun boyutlara getirilmiştir. Isıl iletkenlik ölçüm aralığı ise 0-10 W/(mK) olduğu için bu aralıkta ölçüm gerçekleştirilmiştir. Isıl iletkenlik, bir malzeme boyunca ısı akışının ölçüsüdür. İyi bir ısı iletkenlik için numunenin homojen olması çok önemlidir.

Numuneler Eskişehir Teknik Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezinde gönderilmiş ve ısı iletkenlik testleri yapılmıştır. Ölçümler C-Therm Technologies marka TH89-05-00400 model iletkenlik cihazı ile yapılmıştır. Gönderilen izole refrakter betonlara ait oda sıcaklığında ısı iletkenlik analizi ölçüm sonuçları Çizelge 4'te ve ekte verilmiştir.

Çizelge 4. Isıl iletkenlik ölçüm sonuçları.

Test %	Reçete 1	Reçete 3
	Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1,12
Soğuk Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	21,76	29,44
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,118	0,081

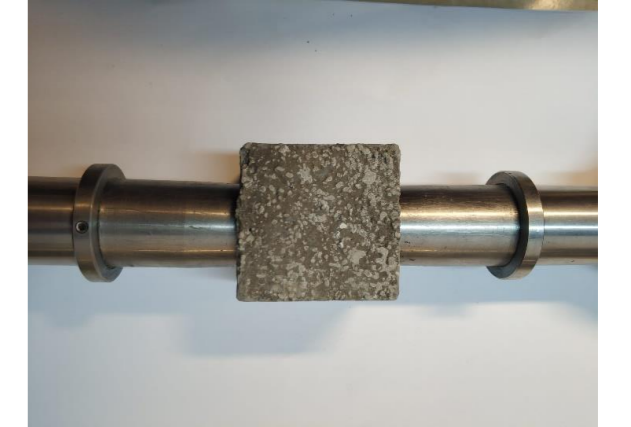
## 2.6. Ultrasonik Ses İletkenlik Testleri

Numunelerde mekanik testler öncesinde, EAO cürufu hidratasyonu sonucunda genişlemeye bağlı olarak çatlak oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 3'te 5x5x5 cm boyutlarında şekillendirme işlemleri yapılan küp numuneler gösterilmiştir.  $110^\circ\text{C}$ 'de yapılan kurutma ve  $1100^\circ\text{C}$ 'de ısıtım işlemi sonrası IP-8 Ultrasonic Multiplex Tester marka test cihazı ile ses dalgaları gönderilmiş ve ses iletim hızı tespit edilmiştir.

İzole refrakter beton numunelerine ultrasonik test işlemleri ile çatlak kontrolleri yapılmış ve ses yalıtım özellikleri incelenmiştir. Ultrasonik ölçümler tek bir numuneden alınmamış olup değerler kendi içinde sapma olup olmadığına göre irdelenmiştir. Her numuneden 3 ölçüm alınıp ortalama sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5'te değişen hacim ağırlıkları, reçete bileşiminde kullanılan bağlayıcı ve kimyasal katkı çeşitleri ve oranlarına göre ses iletim hızlarının değişimi görülmektedir. Ses iletim testleri, 5x5x5cm ölçülerine sahip küp numunelerde paralel yüzeylerde sesin geçiş hızına göre gerçekleştirilmiştir.  $110^\circ\text{C}$ 'de kurutma sonrası ses iletimlerine bakıldığında referans refrakter malzemenin 1640,1 m/s ses iletim hızına sahip olduğu tespit edilmiştir. Reçete 2'de EAO cürufu

şamot yerine kullanıldığı zaman ses iletim hızının 1443,2 m/s ile azalış gösterdiği görülmüştür. Reçete 2 'de kullanılan EAO cürufu nedeni ile 5 cm paralel yüzeyde ultrasonik sesin daha yavaş olduğu tespit edilmiştir. Reçete 3'te fosfat bağlayıcı esaslı kaplamalı numunede ses iletim hızı 1690 m/s ile referans reçeteye göre artış göstermiştir.



Şekil 3. Ultrasonik test genel görüntüsü.

Reçete 1'de izole refrakter betonun  $110^\circ\text{C}$ 'de 1640,1 m/s ses iletim hızının  $1100^\circ\text{C}$ 'de 1574,7 m/s ile azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Ticari olarak kullanılan referans malzemenin ses iletim hızında çok fazla değişim olmadığı görülmektedir. Reçete 2'de EAO cürufu direkt granül olarak kullanıldığı zaman, ısıdan dolayı sistemden uzaklaşan su ve hidrolik bağların yerine seramik bağ almıştır. Bu nedenle gözeneklerin miktarında artma meydana gelmiştir. Aynı zamanda EAO cürufunda bulunan serbest  $\text{CaO}$  ve  $\text{MgO}$ , yüksek sıcaklıkta granül içinde hidratasyon sonucunda küp numunelerin hacimce genişlemesine neden olmuştur.  $1100^\circ\text{C}$ 'de %5,98'lik ciddi bir hacim büyümesine neden olmuş ve ses iletim hızı 1037,2 m/s değerine azalmıştır. Reçete 3'te fosforik asitle sarılmış EAO granülleri ve etrafında bulunan kaplama tabakası sayesinde ses iletim hızı  $1100^\circ\text{C}$ 'de 1360 m/s değerine artmıştır. Reçete 3'te  $110^\circ\text{C}$ 'de 1690,2 m/s ses iletim hızının  $1100^\circ\text{C}$ 'de fosfat bağının EAO cürufundaki metallerin ve oksitlerinin hava ile temasının azaltılması ve bu bölgede meydana gelen kaplamanın oluşturduğu seramik tabakanın ses iletim hızını 1360,6 m/s azaltıcı özellikte olduğu tespit edilmiştir.

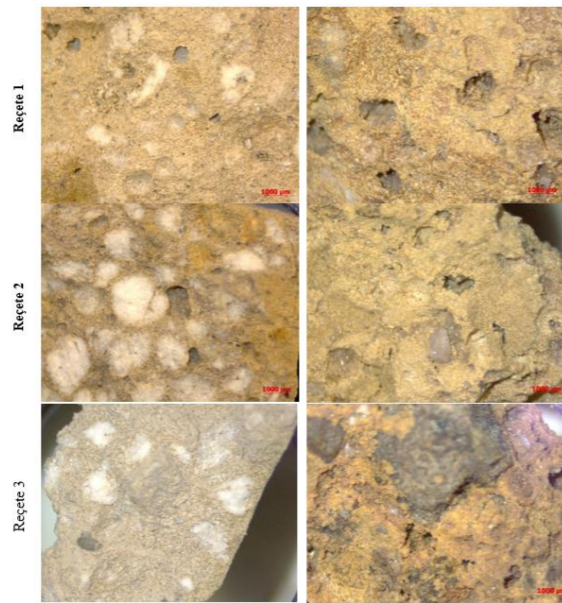
Çizelge 5. Ultrasonik test sonuçları.

Sıcaklık	Testler	Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3
$110^\circ\text{C}$	Hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1,19	1,20	1,17
	Soğuk Basma Day. (kg/cm <sup>2</sup> )	34,24	24,64	29,44

	Birim Mesafe Ses İletim Süresi ( $\mu$ s)	30,5	34,6	29,6
	Ses İletim hızı (m/s)	1640,1	1443,2	1690,2
	Elastik Modül (GPa)	3,0	2,5	3,4
1100°C 3 saat	Hacim ağırlığı( $gr/cm^3$ )	1,12	1,04	1,16
	Lineer Genleşme (%)	-0,96	5,98	-0,05
	Soğuk Basma Day.( $kg/cm^2$ )	21,76	8,92	29,64
	Birim Mesafe Ses İletim Süresi ( $\mu$ s)	31,8	48,2	35,3
	Ses İletim hızı (m/s)	1574,7	1037,2	1360,6
	Elastik Modül (GPa)	2,7	1,2	2,1

## 2.7. Mikroyapı İncelemeleri

110°C'de ve 1100°C'de ısıtılma işlemi uygulanan izole refrakter beton numunelerine yapılan soğuk basma dayanımı testi sonrasında kırık yüzeyler stereo ve elektron mikroskopta incelenmiştir. Makroyapı incelemeleri Carl Zeiss marka Stemi 305 model stereo mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te 1-2-3 nolu reçeteler için hazırlanan numunelerin kırık yüzeylerin stereo mikroskopta 2x büyütme görüntüleri verilmiştir. Reçete 1 için 110°C'de kurutulmuş numunede hidrolik bağ yapının olduğu ve kırma esnasında meydana gelen boşluklar görülmüştür. İzole beton ana matrisinde beyaz tanelerin perlit olduğu görülmektedir. 8 mm tane boyutuna sahip olan perlitlerin mikserleme esnasında zayıf mukavemete sahip olmaları ve uygulanan kuvvetle beraber şekil değiştirmeleri ile deformasyona uğradıkları ve şekillerini koruyamadıkları tespit edilmiştir. Ana yapıda perlitlerin tane boyutunun homojen olmadığı ve mikserleme esnasında deforme olarak parçalandığı tespit edilmiştir. Perlitlerin şamot tanelerin etrafını çimento ve kil ile beraber sardıği görülmektedir. Maksimum 5 mm tane büyüklüğüne sahip olan şamot tanelerinin ana matriste 100 mikron altı çimento ve kilden görülemez. Kırılma yüzeyinin gevrek olduğu tespit edilmiştir. 110°C'de kırılma sonrası şamot tanelerinin bıraktığı boşluklar görülmektedir. Reçete 1'de 1100°C'de 3 saat ısıtılma işlemi yapılan izole refrakter betonda hidrolik bağın etkisinin kaybetmeye başladığı ve seramik bağ yapısının oluştuğu görülmektedir. ısıtılma işlemi sonunda perlitlerin yanması sonucu meydana gelen boşluklar net olarak görülmektedir. Meydana gelen kırılmanın gevrek bir kırılma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 1-2-3 nolu reçetelerin stereo mikroskop görüntüleri.

Şekil 4'e göre reçete 2'ye 110°C'de yapılan kurutma işlemi sonrası iri olan ve deforme olmamış perlit granülleri görülmektedir. Basma testi sonrasında EAO cüruf granülünün bıraktığı boşluk net olarak görülmekte olup çimento ve kil karışımı cüruf tanelerinin çevresini tamamen sardıği için reçete 1'e benzer bir gevrek kırılma yüzeyi görülmektedir. 1100°C'de yapılan deneysel çalışmalarda genleşme olmasına rağmen reçete 1 ile benzer bir kırık yüzey görüntüsü mevcuttur. 1100°C'deki resimde 500 mikron büyüklüğündeki EAO cüruf granülleri görülebilmektedir.

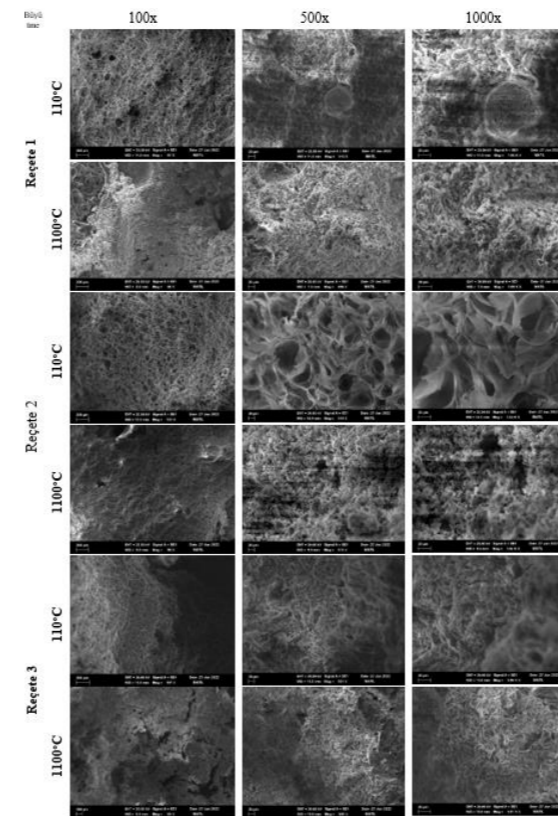
SEM incelemeleri Carl Zeiss EVO-MA10 model elektron mikroskopta yapılmıştır. Alınan kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.

Reçete 1'e 110°C'de yapılan kurutma sonrası kırılmış numune yüzeyine yapılan incelemede hidrolik bağ yapısı, mikro gözenekler ve perlitin oluşturduğu dairesel 30 mikronluk gözenek tespit edilmiştir. Kırılma yüzeyinin gevrek yapıda olduğu görülmektedir. 1100°C'de ısıtılma işlemi sonrasında hidrolik bağ yapısının kaybolduğu ve seramik bağ yapısının oluştuğu gözeneklerin mikro boyutta olduğu ve 110°C'ye göre daha gevrek kırılma yüzeyi tespit edilmiştir.

Reçete 2'ye yapılan 110°C'de kurutma işlemi sonrası kırık yüzeyde hidrolik bağ yapısı çok net olarak görülmektedir. 110°C'de reçete 1 ile hidrolik bağ yapıları benzerdir. Mikro boşluklar olan gevrek kırık yüzeyde homojen bir hidrolik bağ oluşumu mevcuttur. 1100°C'de ısıtılma işlemi yapılan numunede hidrolik bağ yapısının yerini

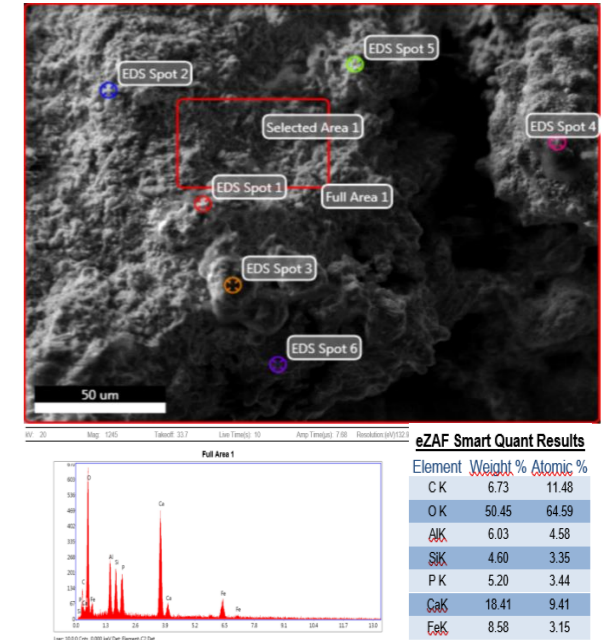
seramik bağa bıraktığı ve daha gevrek bir yapıya geçiş olduğu görülmektedir. 1100°C'de 100 büyütmede perlitin bıraktığı boşluk görülmekte olup yapının lahana yaprağı şeklinde gevrek bir kırık yüzey olduğu görülmektedir.

Reçete 3'te sistemde aynı oranda çimento bulunmasına rağmen beraberinde bulunan fosfatın hidrolik bağ yapısını bozduğu, 110°C'de yapılan kurutma işlemi sonrası alınan mikroyapı resminin diğer numunelerden alınmış resimlerden farklı olduğu görülmektedir. Alınan mukavemet değeri 1 nolu numunenin mukavemetine oranla daha düşük olmasının nedeni, çimentonun kimyasal bileşimde bulunan  $CaO$ 'in fosfatla yaptığı bağ sonunda oluşan  $Ca_3(PO_4)_2$  yapısının  $Ca(OH)_2$  bağından daha zayıf olmasıdır. Oluşan bu fazlar, alınan elektron mikroskop görüntülerinde 110°C ve 1100°C'deki mikroyapıların farklı olmasının sebebidir.



Şekil 5. Kırık yüzey SEM görüntüleri.

Şekil 6'da fosfat kaplamalı olarak kullanılan EAO cüruf granüllerine SEM EDX analizleri yapılmıştır. Diğer numunede olduğu gibi 1100°C'de ısıtılma işlemi sonrası mukavemet testi yapılan numunenin kırık yüzeyi içinden granüller çıkarılarak SEM EDX analizleri yapılmıştır.



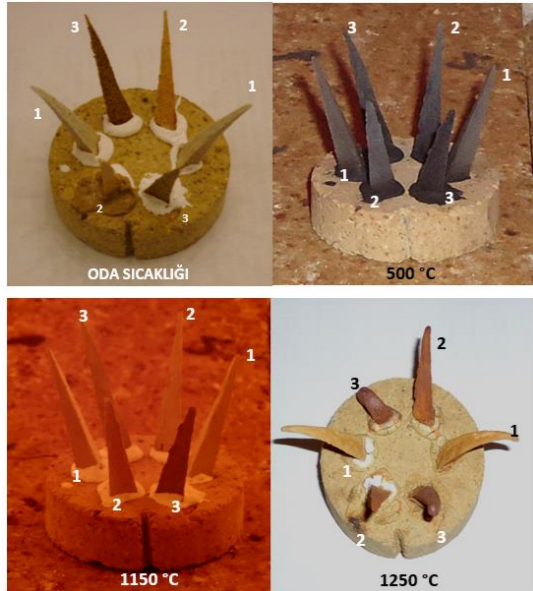
Şekil 6. 1100°C ısıtılma işlemi sonrası reçete 3 fosfat kaplamalı EAO cüruf granülü SEM EDX analizi.

Fosfat kaplamalı EAO cürufu granül yüzeyine yapılan SEM EDX element analizinde O, Al, Si, Ca, C, P, Fe ve Ti piketleri tespit edilmiştir. Fosfat kaplanmış olan numunede görünmesi beklenen Mn, V, S, Mg elementlerinin tespit edilmediği görülmektedir. Yapılan kaplamanın altında kalan bu elementler fosfat ve kaplama bileşiminin oluşturduğu tabaka nedeniyle EDX analizinde tespit edilememiştir. EAO cürufu granül yüzeyinde farklı olarak tespit edilen element karbon olmuştur. Reçete 2'de tamamen oksidasyona uğrayan karbon reçete 3 bileşiminde kullanılan fosfat ve yapılan kaplama sayesinde sistem içinde oksitlenmeden refrakter bileşiminde kalmıştır. Refrakter izole beton yapısının gözenekli olduğu ve yapısında bulunan grafitin tamamen oksitlenmesi beklenirken kaplamanın cüruf yüzeyini tamamen sardığini ve oksidasyona karşı ayrı bir direnç meydana geldiği tespit edilmiştir.

## 2.8.Refrakterlik Testi

İzole refrakter beton üretiminde kullanılacak olan EAO cüruflarının çalışma sıcaklığının belirlenmesi için refrakterlik testi yapılmıştır. Refrakterlik testi ASTM C24-01 standardına uygun olarak hazırlanan Seger konisi yöntemi ile yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılacak olan numuneler halkalı değirmende 100 mikron altına öğütülmüştür. Öğütülen numuneler standarda uygun ölçülerdeki kalıp içine plastik kıvamda preslenmiş ve numune hazırlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan numunelere etüv içinde 1 gün boyunca 110°C'de kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutulan

numunelere 10°C/dk hızla kül fırında oksitleyici ortamda ısıtma işlemi yapılmıştır. Şekil 7'de sabitlenen SK konilerinin oda sıcaklığı, 500°C ve 1150°C kül fırın içinde resimleri alınmıştır. Test işlemine 1250°C'de 3 nolu numunenin yumuşamaya başlaması ile son verilmiş ve fırın kapatılarak numuneler soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 7. Kül fırın artan sıcaklığa bağlı sk konileri yumuşama görüntüleri.

Reçete 3 ile hazırlanan EAO cürufu esaslı refrakter beton bileşiminde bulunan fosfat ve kaplama nedeni ile 1250°C'de yumuşama başladığı tespit edilmiştir. Reçete 1 ve reçete 2 ile hazırlanan numunelerin boyun verdiği tespit edilmiştir. Yapılan refrakterlik testi sonrasında EAO cürufu esaslı betonların 1150°C servis sıcaklığına kadar çalışma sağlayacağı tespit edilmiştir.

### 3. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonunda fosfat kaplamanın EAO cürufunun genişlemesine engel olduğu, yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturduğu tespit edilmiştir.

Aynı zamanda kullanılan fosforik asit 900-1100°C kullanım servis sıcaklıklarında oluşan seramik bağ haricinde fosfat bağı yapması ile uzun kullanım ömrü sağlayacaktır.

Yapılan fosfat bağı reçete ve piyasada kullanılan referans reçeteye göre hazırlanan numunelere yapılan ısı iletim testlerinde alınan iletim değerlerinin yakın olduğu tespit edilmiştir. EAO cürufunda bulunan demir oksitlerin ısı

iletimi üzerinde sistemde olan perlit sayesinde çok etkili olmadığı tespit edilmiştir.

EAO cürufunun diğer kullanım engeli de yüksek sıcaklıkta ergime göstermesiyle yapılan SK refrakterlik testlerinde 1150°C'ye kadar sorun olmadığı gözlenmiştir.

Yapılan fosfat kaplama ile cürufun genişmesi ve patlaması engellenmiştir. Yüksek sıcaklıkta fosfatla beraber kaplama kullanımı ile sistemde bulunan yüksek su oranına rağmen genişlemeye bağlı çatlama olmadığı numunenin kendini muhafaza edebildiği tespit edilmiştir.

Çatlak kontrolü için yapılan ultrasonik testlerde numunelerde 1100°C'de yapılan ısı işlem sonrasında çatlak oluşumu tespit edilmemiştir. Fosfat kaplama yapılan reçete 3 üretim için fiziksel ve mekanik özellikler yönüyle uygun bulunmuştur.

### Teşekkür

Çalışmalarda her türlü desteği veren Süperref Ateşe Mukavim Malzeme Sanayi A.Ş. firması çalışanlarına teşekkür ederiz.

### 5.Kaynaklar

[1] Demir Çelik Cüruf Raporu, Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015

[2]Yasin Öcal, Demir Çelik Sektöründe Atık Yönetimi, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014

[3] Atık'tan Ürün'e Demir-Çelik Cürufu Aslan Ünal Yüksek Lisans Tezi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği(Türkçe) Programı 222

[4] 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-19 Ekim 2001', İzmir, Türkiye Pomzalı Betonların Refrakter Amaçlı Kullanımı İ. İnel, C. Aslan & G. Ulusoy MTA Genel Müdürlüğü, Ankara 33333

[5] İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü "Yaş yöntem fosforik asitin mono ve di kalsiyum fosfat kristalizasyonları ile saflaştırılması" Hale Gürbüz, Doktora tezi, Ocak 1991

[6] <https://sciencealpha.com/tr/magnesium-hydroxide-characteristics-properties-and-production-chemical-reactions>

## Integrated Service Solutions for a Complete Lifecycle



Frank JANSEN

SMS Group - Germany

### Abstract

For SMS group service starts with planning and design of machines and plants, continues with commissioning and proceeds with support throughout the whole lifecycle of the equipment. Consequently, SMS group is expanding its service solutions portfolio to provide customers with the right offer in every phase of the lifecycle.

### Introduction

Complementary SMS group provides a worldwide network of experts and service centers as the regional service partner with short response times. SMS group's primary objective is to ensure equipment availability and performance. Hence, we strive to detect and prevent issues before they occur and are well staffed to execute equipment checks and further field services supported by digital solutions.

Our product specialists perform maintenance and repair services on-site customer's premises or in our specialized regional service centers around the world to the highest OEM standards.

### Services for each lifecycle phase

SMS group increases performance and thereby creates customer benefits during the whole lifetime of the equipment by applying integrated service concepts. This means providing the right solution with the highest impact on customer performance for every phase of the equipment lifecycle.



After the initial design and commissioning, we offer service concepts based on individual customer needs to ensure the performance level of the equipment. These include, for example, original OEM spare parts supply and warehousing solutions to minimize equipment downtimes.



In addition, we offer individual audit, consulting and modernization concepts, enabling our customers to increase production, expand their product range and reduce operating costs

### Performance enhancement with digital solutions

The utmost goal of our Smart Maintenance & Asset Optimization Solutions is to make maintenance as effective and efficient as possible and thereby maximize equipment availability. Genius CM®, Smart Alarm and DataXpert™, as well as the SMS DataFactory, form the basis to apply predictive maintenance. Alarms and thresholds are generated based on equipment and automation data and machine learning algorithms.

The DataXpert™ and the IMMS® (Integrated Maintenance Management System) are coupled with the SMS DataFactory. Input from the DataXpert™ is used to initiate optimized maintenance tasks in the IMMS®.

Supported by the digital plant documentation eDoc, maintenance tasks are compiled and made available on mobile devices. Following maintenance staff feedback forms a practice-oriented verification of the algorithms results. In this way, algorithms are continuously improved in a closed control loop and help optimize maintenance and overall equipment efficiency.

#### Performance-based subscription models for mutual benefits

Traditional services and our outstanding digital solutions can also be combined to guarantee further benefits and take over risks from customers. For example, SMS group offers to take over complete maintenance activities within the framework of long-term contracts. The range of services starts with the maintenance of components in our service centers or on customer's premises and goes as far as taking over maintenance of entire plant sections. Based on our many years of experience, we offer performance-based payment models. In this way, we share the risk of our customers and jointly generate benefits.

SMS group even goes one-step further with its equipment-as-a-service solutions. They include integrated service solution bundles comprising equipment, maintenance and intelligent digital services with performance-based payment models. This enables our customers to focus on their core competencies and processes.

#### Conclusion

SMS group is your reliable partner to offer the right solution for your individual needs from OEM spare parts supply up to integrated performance oriented service concepts for every phase of the equipment lifecycle.

## Nickel Pig Iron (NPI): An Alternative Raw Material for Steel Production

Nikel Pik Demir (NPD): Çelik Üretimi İçin Alternatif Bir Hammadde



Halil YILDIRIM<sup>1</sup>, Ahmet TURAN<sup>2</sup>, Onuralp YÜCEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Technical University, <sup>2</sup>Yeditepe University - Türkiye

#### Abstract

Nickel pig iron (NPI) is a nickel-containing pig iron alloy which may contain slight amounts of the cobalt and the chromium as well. High production costs of ferronickel and the shortages in raw material supply led steel producers, which are located mainly in the Far East region, to commercially search for new substitutional raw materials in the beginning of 2000s instead of ferronickel. The main resource of NPI is lateritic type nickel ores which are conventionally processed through leaching methods to extract their nickel and cobalt contents out to produce ferronickel or other nickel-based products. In NPI production technology, as an alternative to leaching, not only the nickel and the cobalt, the iron and the chromium which are present in the ore are reduced into the metallic state in the form of pig iron ingots through reductive smelting, a pyrometallurgical process. The reduced NPI ingots can be used with or without ferronickel for further steel production by feeding into furnaces. In the present study, East Anatolian region (Turkey) lateritic nickel ores, having 30.11% Fe, 1.02% Ni, 0.05% Co and 2.19% Cr by wt., were used in the experimental studies. In the experimental stage, ore samples were subjected to reductive smelting by means of an induction furnace. The experiments were carried out at temperatures between 1600°C - 1650°C, for increasing reductant ratio, duration and flux addition ratio (CaO). The optimum NPI sample, which had a chemical content of 88.41% Fe, 3.25% Ni with 0.18% Co and 5.54% Cr, were obtained in the experiment conducted at 1600 °C - 1650 °C temperature range with 30wt.% reductant to ore ratio for 30 minutes. Furthermore, metal recovery ratios were measured as 81.83% for Fe, 88.80% for Ni, 92.90% for Co and 70.50% for Cr in the optimum run. The CaO addition ratio as a flux material was investigated in the experiments having 10% reductant to ore ratio by weight. A positive effect of CaO addition was determined up to 6%. Chemical analysis (AAS), XRF and XRD techniques were utilized for the characterizations.

#### Özet

Nikel pik demir (NPD), nikel içeren ve az miktarda kobalt ve krom da içerebilen pik demir alaşımıdır. Ferronikelin yüksek üretim maliyetleri ve hammadde tedarikindeki yetersizlikler, 2000'li yılların başında ağırlıklı olarak Uzak Doğu Bölgesinde yer alan çelik üreticilerini ticari olarak ferronikel yerine ikame bir hammadde arayışına yöneltmiştir. NPD'nin ana kaynağı, ferronikel veya diğer nikel bazlı ürünler üretmek için geleneksel olarak liç yöntemleriyle işlenen lateritik tip nikel cevherleridir. liç üretim teknolojisinde, liç işlemine alternatif olarak sadece nikel ve kobalt değil cevherde bulunan demir ve krom, bir pirometalurjik işlem olan indirgeyici ergitme ile pik demir külçeleri şeklinde metalik hale indirgenir. İndirgenen NPD külçeleri, fırınlara beslenerek çelik üretimi için ferronikel ile veya ferronikelsiz kullanılabilir. Bu çalışmaya ait deneysel çalışmalarda ağırlıkça %30,11 Fe, %1,02 Ni, %0,05 Co ve %2,19 Cr içeren Doğu Anadolu bölgesi lateritik nikel cevherleri kullanılmıştır. Deneysel aşamasında, cevher numuneleri bir indüksiyon fırını vasıtasıyla indirgeyici ergitme işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler, redüktan oranını, süre ve flaks ekleme oranını (CaO) belirlemek için 1600°C - 1650°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. 1600 °C - 1650 °C sıcaklık aralığında ve 30 dakikada, ağırlıkça %30 redükleyici ile yapılan deneyde, kimyasal içeriği %88,41 Fe, %3,25 Ni ile %0,18 Co ve %5,54 Cr içeren optimum NPD numunesi elde edilmiştir. Ayrıca optimum redükleyici ergitme şartlarında metal geri kazanım verimleri Fe için %81,83, Ni için %88,80, Co için %92,90 ve Cr için %70,50 olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça %10 redükleyici / cevher oranına sahip deneylerde bir flaks malzemesi olarak CaO ilave oranı araştırılmıştır. Özellikle ağırlıkça %6'ya kadar artan CaO ilavesinin olumlu bir etkisi tespit edilmiştir. Numunelerin karakterizasyonu için kimyasal analiz (AAS), XRF ve XRD teknikleri kullanılmıştır.



## 1. Introduction

Nickel is an important metal that finds many uses in the industry. It is available in refined metal, powder and sponge forms in final products. While metallic nickel is mostly used (62%) in stainless steel, 13% is consumed as super alloy and non-ferrous alloy due to its high temperature and superior corrosion properties [1, 2 and 3]. Nickel ores can be divided into two different groups as lateritic and sulphide. 70% of nickel ores are lateritic, but 60% of primary production is carried out using sulphide ores. The decrease in sulphide ore reserves and the increase in nickel prices give importance to lateritic ores. Laterite nickel ores usually occur in tropical or subtropical regions where they form from weathering of ultramafic rocks with high levels of magnesium and iron. These deposits exhibit different layers depending on weather conditions. The first layer is the silica-rich layer while the second is a limonite layer dominated by goethite [FeO(OH)] and hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Beneath these layers, there is a layer which is rich in magnesium and basal elements, namely saprolite [(Ni,Mg)SiO<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O]. In the last layer, there are altered and undisturbed bedrocks. Between the saprolite and limonite layers, there is usually a serpentine [Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] layer rich in iron and magnesium (10-20% Mg). For an ideal laterite deposit, the limonitic layer is not very suitable for uplift. Moreover, upgrading of the magnesium-rich saprolite layer is also limited for nickel concentration [1, 2, 3, 6, 7 and 8].

Pyrometallurgical, hydrometallurgical and combined (pyro-hydrometallurgical) methods are common methods used to extract nickel from ores. High temperature pressure acid leaching is used to recover metallic nickel and cobalt from laterite nickel ores. It is more suitable for plants that process ores with low magnesium oxide and aluminium oxide content. Lateritic ores are subjected to hot acidic leaching at ~250 °C to dissolve nickel and cobalt under high pressure. After this process, solvent extraction (SX) is performed [6, 9 and 10]. The major disadvantage of HPAL is the high cost and maintenance costs of titanium autoclaves. The process is complex and difficult to control due to the heating and high pressure requirement of the process [4, 6 and 10]. For lower cost and smaller scale plants, atmospheric leaching (AL) can be used instead of HPAL. In the AL process, laterite ores are directly leached with organic or inorganic acids, and as a result of the leaching, Ni and Co are obtained in solution. Using SX, the solution can be enriched and metallic nickel and cobalt can be recovered by electrowinning or precipitation [4, 6 and 9]. The Caron process was developed by Caron in the 1920s. However, the first use of this process was made in Cuba after World War II. The Caron process is applicable to high iron limonitic ores and provides more Mg than other acid leaching processes. Caron process consists of blending, drying, reduction in a roaster, quenching in ammoniacal ammonium carbonate

solution and Ni and Co precipitation steps. When hydrometallurgical and pyrometallurgical processes are used together, the recovery rate is low. In addition, high energy consumption occurs in the first step of this process [10, 11]. Rotary furnace and fossil fuels (petroleum, coal, natural gas, etc.) are used as reducing agents during the ferronickel melting process of lateritic ores. Cobalt and nickel are reduced first because iron has a greater affinity for oxygen. After removing the non-reduced iron oxide, silicon and magnesium oxide slag phase, the product is refined in the converter. The ferronickel obtained contains 25% nickel. Phosphorus, carbon and other impurity elements are oxidized by blowing air into the molten and desulfurized ferronickel. The steps in this process are energy intensive, but energy costs can be reduced by using new furnace technologies [7, 10 and 12].

Nickel pig iron (NPI) production was developed about 50 years ago. However, it was not used commercially until some Chinese pig iron producers changed their production method to NPI. NPI production in China was carried out in blast furnaces using low-grade laterite ores imported from the Philippines, New Guinea and Indonesia. The NPI process is almost identical to the pig iron production methods. The only difference between NPI and pig iron production method is that the ore contains more nickel. The nickel content in blast furnace products ranges from 2% to 10%. In addition to these processes, there is a new approach using electric arc furnaces to reduce OPEX (operational costs) [1, 2, 4, 7, 12 and 13].

In this study, experiments were carried out in an induction furnace with a graphite crucible. Lateritic nickel ores from the Eastern Anatolia Region (Turkey) were used as raw materials for NPI production. With experimental studies, effects of processing time, reducing ratio and flux material addition were investigated.

## 2. Experimental Studies

In experimental studies, crude lateritic nickel ore samples collected from the Eastern Anatolia Region were subjected to mineral preparation and smelting operations. First, crushing/grinding operations were applied by using jaw crusher, cone crusher, roller crusher, and vibratory cup mill, respectively. The average particle size of the grinded ore was determined as 303 µm using the sieve analysis technique. After crushing and grinding operations, the ore was homogenized.

The homogenized ore was characterized by XRD, XRF and AAS analyses. In addition to these, volatile substances, ash amounts and fixed carbon in metallurgical coke were also analysed. According to the X-ray diffraction (XRD, PANalytical PW3040/60) analysis of the ore, the raw ore contains quartz, hematite, magnetite and magnesium chromium oxide phases with a slight amount of nickel iron oxide. Figure 1 shows the XRD pattern of the ore.

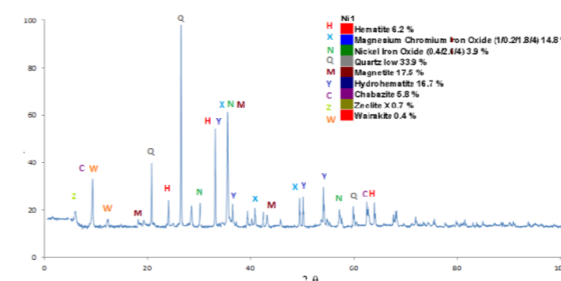


Figure 1. XRD pattern of raw lateritic nickel ore.

Quantitative analysis of crude lateritic ore was performed using XRF (Thermo SCIENTIFIC, NITON XL3t) and AAS (Perkin Elmer Analyst 800) analyses. The results of the chemical analysis results were given in Table 1.

Table 1. Quantitative analysis of the ore (wt.%).

Ni	Fe	Cr	Co	Mn	Mg	Al
0.90	30.11	2.30	0.054	0.31	4.99	1.80
Sr	Ca	Zn	S	Ti	SiO <sub>2</sub>	LOI
0.003	0.10	0.04	0.04	0.02	40.61	2.50

In the first series of the experiments, the effect of the amount of reductant was investigated. First, the lateritic ore and coke were dried in a dryer at 105 °C for 120 minutes. Metallurgical grade coke was mixed with 100 g of ore (from 5% to 35%, coke to ore ratio) and then placed in a commercially designed induction furnace available for F9 - F10 graphite-based crucibles. This process was carried out for 25 minutes in the temperature range of 1600-1650 °C. It was determined that the mixtures in the induction furnace started to melt in the range of 1350-1400 °C after 10 minutes and, reached the maximum temperature after 15 minutes. After smelting and casting processes, metallic and slag phases were obtained. The magnetic-metallic and non-magnetic fractions of the slag were separated by means of magnetic separation after the grinding of slag phases. Magnetic particles were added to the metallic phase for remelting. Figure 2 shows the general flow chart of the process. Characterizations of homogenized metal buttons, obtained in the remelting stage, were performed with AAS and XRF. It was determined that the highest yield was obtained in terms of recovery of Co and Ni, and the mixture containing 30% reducing agent and 100 g ore. In the second series of the experiments, the effect of the processing time was investigated. In this stage, the mixture containing 30% reductant and 100 g ore was used. This mixture was smelted at different processing times ranging from 15 minutes to 35 minutes. Experimental methods and characterization techniques, which were applied to the first series of experiments, were also applied to the second series of the experiments. In the third (and the last series)

of the experiments, varying amounts of CaO were added to 10% coke-containing metallurgical charge mixtures with a processing time of 25 minutes. Thus, the possibility of improving the results obtained from low reductant addition with shorter processing times was investigated.

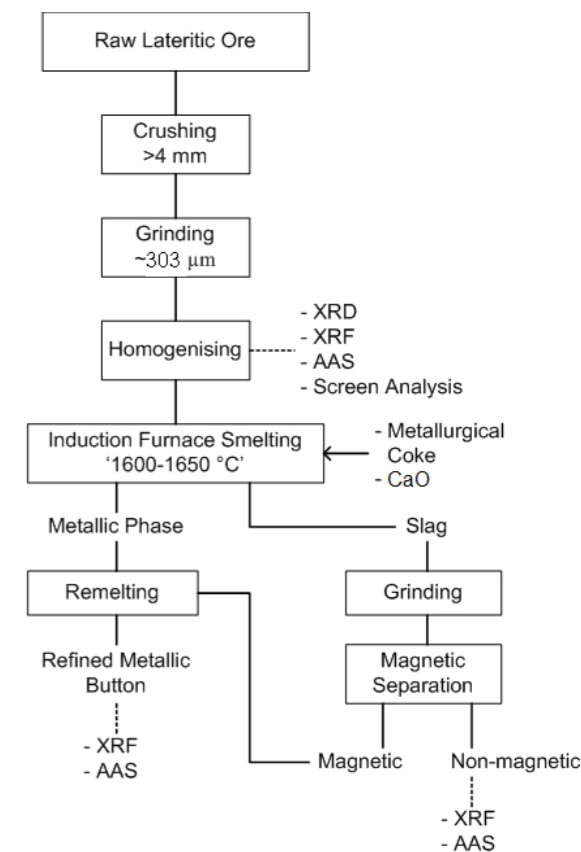


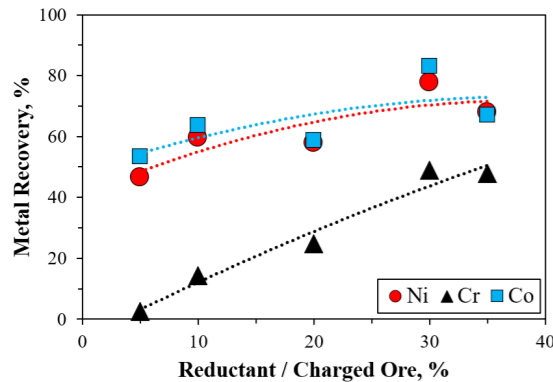
Figure 2. Flow chart of the experimental studies.

## 3. Results and Discussion

The best yield was determined as 88.13% as a result of the study carried out with a mixture of 100 g ore and 30% coke for nickel recovery in the first series of the experiments. In addition, the highest nickel concentration (6.94%) was obtained in metal buttons in the experiment using a mixture of 100 g ore and 5% coke. However, in parallel with the increase in the amount of reductant, the nickel recovery increases while the nickel concentration decreases. Table 2 shows the Co, Ni and contents of the alloys, and Figure 3 shows the metal recovery efficiency and the percentage of reductant/charged ore. Co and Ni show less affinity to oxygen than other metals. Therefore, their reducing capacity is higher at low reductant/ore ratios.

**Table 2.** Ni, Co and Cr contents of metallic buttons with different percentiles of metallurgical coke/ore addition ratios for 25 minutes.

Reductant / Ore, %	Ni%	Co%	Cr%
5	6.94	0.43	0.81
10	4.07	0.23	2.01
20	3.17	0.17	2.90
30	3.00	0.17	4.05
35	2.87	0.15	4.32

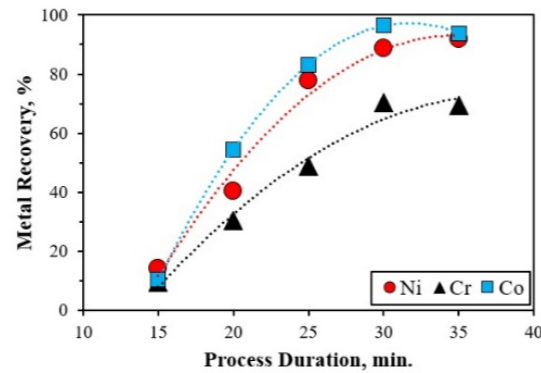


**Figure 3.** Ni, Co and Cr recovery ratios with increasing percentiles of metallurgical coke/ore addition ratios for 25 minutes.

As can be seen in Table 3 and Figure 4, metal recovery efficiency increased with increasing processing time. Co, Ni and Cr recovery rates increased until 30<sup>th</sup> minute and, they levelled off after 30 minutes. In the experiment for 35 minutes, 93.20% Ni, 93.87% Co and 65.24% Cr yields were obtained. Similarly, their concentrations in metallic buttons were increased as well. Both for increasing reductant ratios and process duration, the lowest reduction yields were obtained for the chromium. It can be easy to see, when the Ellingham Diagram is checked out, the affinity of the chromium to the oxygen is the higher in comparison to the Ni and the Co and, it makes the reductant capacity of the chromium lower than that of those two metals. The focus point of the present study was the investigation of reduction properties of the Ni and the Co into NPI form and, therefore the chromium reduction yields and the concentrations in NPI buttons were thought to be enough.

**Table 3.** Ni, Co and Cr content of metallic buttons with increasing process duration with 30% constant metallurgical coke/ore addition ratio.

Duration, Min.	Ni%	Co%	Cr%
15	3.40	0.13	4.81
20	3.09	0.22	4.99
25	3.00	0.17	4.05
30	3.25	0.24	5.54
35	3.13	0.19	5.07

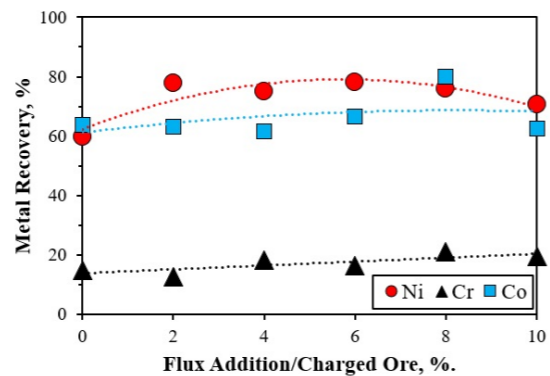


**Figure 4.** Ni, Co and Cr recovery ratios with increasing process duration at 30% constant metallurgical coke/ore addition ratio.

In the last series of the experimental studies, increasing flux addition ratio (CaO) was investigated. The experiments were carried out with increasing flux/charged ore ratio at 10% constant reductant/charged ore for 25 minutes. The Co, Ni and Cr concentrations of the alloys obtained were shown in Table 4 and, the metal recovery yields were shared in Figure 5. According to the results obtained, it was determined that the addition of CaO slightly increased the total metal recovery up to particularly 6% flux addition.

**Table 4.** Ni, Co and Cr contents of metallic buttons with increasing flux/ore ratio at 10% constant metallurgical coke/ore addition for 25 minutes.

Flux / Ore, %	Ni%	Co%	Cr%
0	4.07	0.23	2.01
2	5.29	0.23	1.79
4	4.86	0.21	2.45
6	4.47	0.20	1.98
8	3.51	0.19	2.01
10	3.79	0.17	2.17



**Figure 5.** Ni, Co and Cr recovery ratios with increasing flux/ore ratio at 10% constant metallurgical coke/ore addition for 25 minutes.

**4. Conclusion**

In this study, lateritic nickel ores which were obtained in the Eastern Anatolia Region were used. The ore was subjected to carbothermic reduction using an induction furnace with graphite-based crucibles and, nickel pig iron samples were obtained. The effects of the amount of reductant, the process time and the amount of flux material on metal recovery and concentrations were investigated through experimental studies.

In the first series of the experiments, the highest Ni-Co recovery efficiencies were determined as 88.13% and 83.23%, respectively. The experiments were done with 30% metallurgical coke for 25 minutes.

There was no significant change in the Ni and the Co concentrations in the alloy with increasing processing time. However, the recovery ratios in the second series of the experiments changed with increasing time. The highest recoveries in this stage were obtained with the addition of 30% metallurgical coke as 93.20% Ni, 93.87% Co and 65.24% Cr for the processing time of 35 minutes.

In the last series of the experiments, the improvement of the results obtained from the experiments with low reductant ratio was investigated. In this stage, CaO was determined as the flux material and, the effect of its addition was investigated. According to the results obtained, when CaO was added, a positive effect on metal recovery was observed up to 6% CaO addition ratio.

**References**

[1] O. Yucel, A. Turan and H. Yildirim, Investigation of Pyrometallurgical Nickel Pig Iron (NPI) Production Process from Lateritic Nickel Ores, TMS 2012, 141th Annual Meeting and Exhibition, 11-15 March 2012, Orlando, Florida, USA.  
 [2] H. Yildirim, A. Turan and O. Yucel, Nickel Pig Iron (NPI) Production from Domestic Lateritic Nickel Ores Using Induction Furnace, IISS 2012, International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Turkey.  
 [3] J. Barkas, Drivers and Risks for Nickel Demand, 7th International China Nickel Conference, 2010, Shanghai, China.  
 [4] J. Kim, G. Doddiba, H. Tanno, K. Okayaa, S. Matsuo, T. Fujita, Calcination of Low-Grade Laterite for Concentration of Ni by Magnetic Separation, Minerals Engineering, 23 (2010) 282 - 288.  
 [5] A. Superiadi, Processing Technology vs. Nickel Laterite Ore Characteristic, Pt Inco, 2007.  
 [6] S. Agatzini-Leonardou and I. G. Zafiratos, Beneficiation of A Greek Serpentinic Nickeliferous Ore Part II. Sulphuric Acid Heap and Agitation Leaching, Hydrometallurgy, 74 (2004) 267 - 275.  
 [7] A. D. Dalvi, W. G. Bacon and R. C. Osborne, The Past and Future of Nickel Laterites, PDAC 2004 International Convention, 2004, Canada.  
 [8] R. R. Moskalyk and A. M. Alfantazi, Nickel Laterite Processing and Electro Winning Practice, Minerals Engineering, 15 (2002) 593 - 605.  
 [9] J. A. Johnson, B. C. Cashmore and R. J. Hockridge, Optimisation of Nickel Extraction from Laterite Ores by High Pressure Acid Leaching with Addition of Sodium Sulphate, Minerals Engineering, 18 (2005) 1297 - 1303.  
 [10] E. Büyükkıncı, Extraction of Nickel from Lateritic Ores, METU, Graduate School of Natural and Applied Sciences, M.Sc. Thesis, 2008, Ankara, Turkey.  
 [11] Burkin, A.R., Extractive metallurgy of nickel, John Wiley & Sons, 1982, New York.  
 [12] R. P. Das, Global Scenario for The Extraction of Nickel from Lateritic Nickel Ore and Sukinda Deposit, International Seminar on Development of Nickel and PGM Resources, 2010, Bhubaneswar, India.  
 [13] M. Widmer, Nickel Pig Iron in China, Presentation, Bank of America - Merrill Lynch, 2009.

## CERAN – Highest Performance Used to Reduce Costs (TCO) and the CO2 Footprint (TCO2)

Maliyetleri (TCO) ve CO2 Ayak İzini (TCO2) Azaltan Yüksek Performanslı Ceran Gresleri



**Franck BARDIN, Fabio SILVA, Olaf KURTZ**

TotalEnergies - France

### Abstract

The presentation will focus on beneficial aspects of the unique morphology as base to explain the performance characteristics of the CERAN greases. A project example will be presented how this performance can be used to generate significant cost savings (TCO) as well as to reduce the CO2 footprint (TCO2) during production in a continuous casting line.

### 1. Introduction

Figure 1 illustrates the concept of the TCO2 approach. In the first step the TCO is calculated by monitoring i.e. grease consumption, bearing breaks and downtime costs. The product related CO2 footprint is defined by the usage of a certified calculator considering the CO2 footprint based on the formula, packaging, blending and transportation which is a variable. These calculations are verified by an external party and confirmed by an official certificate.

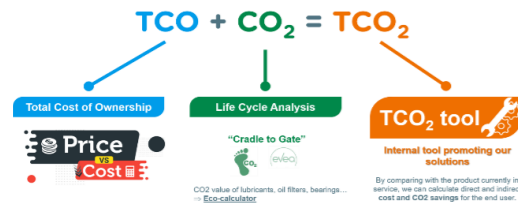


Figure 1. Concept of the TCO2 approach

The CO2 eq. are used for the TCO2 approach:

$$TCO + CO_2 = TCO_2 \text{ (see Figure 1)}$$

CERAN is a TotalEnergies brand standing for a market leading grease technology. The CERAN product range belongs to the Calcium Sulfonate Complex (CaSX) greases. Its high performance and its success are based on a patented production process [1]. This process ensures the specific three-dimensional morphology of the CERAN greases which is key for the unique characteristics [2,3].

The high performance of the CERAN technology pays off directly in cost savings for its user. By carefully selecting raw materials, suppliers and logistics, as well as providing consumption reductions, CERAN technology allows also to reduce the CO2 footprint significantly.

In the following, an example shall be demonstrated.

### 2. Ceran Morphology

The core of the structure is the Calcium Carbonate (CaCO3), the shell is formed by the thickener calcium sulfonate (see figure 2). The structure is a so called inverse micelle which is created by the interaction of colloids from surfactants in this case in a non-polar solvent. Herein, the lipophilic tail is orientated into the non-polar solvent, the hydrophilic head to the core.

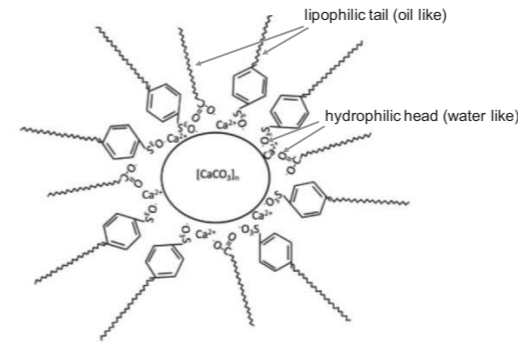


Figure 2. Structure of the CaSX grease, an inverse micelle [4,5].

The patented production process ensures the conversion of amorphous CaCO3 into crystalline calcite which is forming the core of the nanosized inverse micelles. Calcite is besides the vaterite a crystal structure of CaCO3 which has enormous advantages due to its structure compared to vaterite in lubrication.

Without any additives CERAN greases provide excellent extreme pressure, anti-wear and anti-corrosion properties based on its morphology. Furthermore, even in the case of water contamination, CERAN is able to absorb up to 30 to 40 percent water without any change in consistency or in performance. This exceptional characteristic makes the CERAN greases the best choice in applications where water, also saltwater, is omnipresent [6,7,8].

### 3. Cost savings (TCO)

Based on this high performance, Ceran technology significantly reduces the Total Cost of Ownership, TCO, i.e. by reduction of bearing failures, reduction of grease consumption as well as by reduction of maintenance and downtime of the machinery.

In the presented example a conventional CaSX lubrication technology was used in the continuous casting lines before switching to CERAN. For this benchmark, the grease consumption (re-grease intervals), bearing breaks as well as the downtime have been monitored over a period of 18 months. The results show a tremendous reduction in grease consumption by 70 percent. In addition, the bearing failures could be reduced by 40 percent and the downtime even by 67 percent. Considering that productivity has been increased by 17 percent, the lubrication costs per ton of manufactured steel could be reduced by 39 percent.

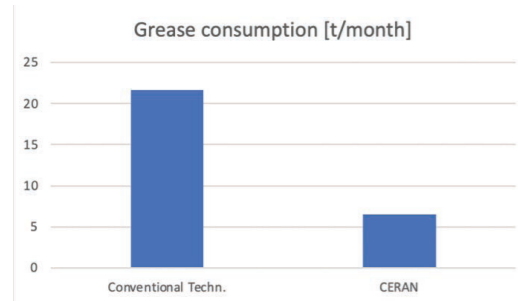
Table 1 summarizes a TCO calculation which was made in close co-operation with a major steel manufacturer.

Table 1. Cost comparison between Ceran compared to conventional CaSX lubrication monitored in continuous casting lines

	Conventional CaSX Technology	CERAN XM	TCO Impact
Grease consumption per month	21.60 tons	6.48 tons	-70%
Bearings consumed per month	20 discs	12 discs	-40%
Monthly steel production	150,000 tons	176,000 tons	+17%
Monthly downtime due to bearing lubrication problems	3 hours	0-1 hour	-67%
<b>Total lubricating cost savings per ton steel</b>			<b>-39%</b>

#### 4. Reduction of the CO2 footprint (TCO2)

The collected TCO data have been combined with CO2 savings as a new TCO2 approach to support the reduction of the CO2 footprint. For this approach, a certified calculator has been used and each calculation for the used products is validated by an external party. In the first step the CO2 savings have been calculated based on the monitored grease consumption reduction (see figure 2) and the related packaging savings.



**Figure 3.** Reduction of grease consumption by 70% after switch to Ceran technology.

Using the CO2 equivalent for Ceran XM 460 as well as the one for the steel drum the CO2 savings per year have been calculated (see figure 2). For the conventional CaSX grease the same CO2 footprint has been estimated in this calculation since the real footprint is unknown.

The calculated CO2 savings are 294t per year including grease consumption and packaging by using Ceran technology (see figure 3).



**Figure 4.** CO2 savings based on grease consumption and packaging reduction.

#### 5. Conclusion

This very detailed study is the first example for the TCO2 approach showing that the high performance of the Ceran technology pays off directly in cost savings as well as in the reduction of the CO2 footprint in the steel industry.

#### References

- [1] F. Bardin, R. Bruggemann, Process for preparing a complex calcium sulphonate grease, WO2015071331A1, 2013
- [2] P. Belot, Calcium Sulfonate Grease – A unique approach to industrial grease lubrication, 7<sup>th</sup> Lubricating Grease Conference, India 2005
- [3] A. da Costa D'Ambros et al, Calcium sulfonate complex grease, a legendary technology adapted to future requirements, ELGI Athen, 2019
- [4] S. Giasson, D. Espinat, T. Palermo, Study of Microstructural Transformation of Overbased Calcium Sulphonates during Friction, Lubrication Science, 5(2), pp 91-111, 1993
- [5] R. Bosman, P.M. Lugt, The Microstructure of Calcium Sulfonate Complex Lubricating Grease and Its Change in the Presence of Water, Tribology Transactions, 2018, Vol. 61, No. 5, pp. 842-849
- [6] G. Fish, Calcium Sulfonate Greases – Performance and application overview, Lubrisense White Paper 14-16, pp. 1-12
- [7] D. Authier, Calcium sulfonate carbonate greases: a solution to water resistance, ELGI Amsterdam, 2013
- [8] J. Leckner, Water + Grease = fatal attraction, ELGI Amsterdam, 2013

## İndüksiyon Ocaklarında Enerji Denkliği

### Energy Balance in the Induction Furnaces



**Nilan DAĞLI, Uğur CENGİZ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

#### Abstract

Energy Efficiency, as a definition; can be expressed as the use of less energy to produce the same or greater quantity of product. In addition to its environmental benefits, energy efficiency studies also improve the total efficiency of companies by increasing production and competition. The consumption of approximately 12% of the electrical energy produced in the world in the Iron and Steel sector reveals the magnitude of the energy used in this sector.

Iron and Steel industry has extremely high energy consumption values. Therefore, it is extremely important for steel producers to reduce energy costs, which constitute approximately 20-25% of total production costs.

Melting with induction furnaces, which is a kind of melting furnace, is a non-contact melting method used to heat metal parts at specified temperatures and times.

Features such as ease of inspection, high efficiency, low material losses and less environmental pollution compared to other melting furnaces make the use of induction furnaces advantageous.

In this study, the energy consumption values used in induction furnaces in Bilecik Demir Çelik A.Ş. were calculated and interpreted with the Sankey Diagram. The energy efficiency of the induction furnace was calculated as 58%, with the energy value of 358 kWh required to melt the steel scrap in induction furnaces. In addition, system losses, refractory and coil/cable cooling water losses, radiation losses and energy losses for slag were calculated, these determined data were compared with the values of different furnace manufacturers, and were brought to the literature by detailing.

#### Özet

Enerji Verimliliği tanım olarak; aynı ya da daha fazla miktarda ürün üretmek için daha az enerji kullanımı olarak ifade edilebilir. Enerji verimliliği çalışmaları çevreye olan faydalarının yanı sıra üretimi ve rekabeti artırarak şirketlerin toplam verimliliğini de iyileştirmektedir. Son yıllarda Dünya genelinde meydana gelen enerji krizi ile enerji verimliliği konusu tüm firmaların önceliği haline gelmiştir.

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %12'sinin Demir – Çelik sektöründe tüketilmesi, bu sektörde kullanılan enerjinin büyüklüğünü ortaya koymaktadır.

Demir - Çelik sanayi son derece yüksek enerji tüketim değerlerine sahiptir. Dolayısıyla toplam üretim maliyetlerinin yaklaşık %20-25'ini oluşturan enerji maliyetlerini düşürmek, çelik üreticileri için son derece önemli olmaktadır.

Bir tür ergitme fırını olan indüksiyon ocakları ile ergitme, metal parçaların belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtmakta kullanılan temassız bir ergitme yöntemidir.

Denetim kolaylığı, yüksek verimliliği, madde kayıplarının düşük olması ve diğer ergitme fırınlarına göre daha az çevre kirliliği yaratması gibi özellikleri indüksiyon ocaklarının kullanımını avantajlı kılmaktadır.

Bu çalışmada, Bilecik Demir Çelik A.Ş.'de indüksiyon ocaklarında kullanılan enerji tüketim değerleri hesaplanmış ve Sankey Diyagramı ile yorumlanmıştır. İndüksiyon ocaklarında çelik hurdasını ergitmek için gereken 358 kWh enerji değeri ile indüksiyon ocağının enerji verimi %58 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında sistem kayıpları, refrakter ve bobin/kablo soğutma suyu kayıpları, radyasyon kayıpları ile cüruf için harcanan enerji kayıpları hesaplanmış, tespit edilen bu veriler farklı ocak üreticilerinin değerleriyle kıyaslanmış, detaylandırılarak literatüre kazandırılmıştır.

## 1.Giriş

Enerji tasarrufu kavramı, günlük hayatımızda olduğu kadar bu enerjinin çok büyük bir bölümünü kullanan endüstriyel tesislerde de hayati önem taşımaktadır. Enerji tasarrufu aynı işi daha az enerji kullanarak yapmaktır [1].

Birincil enerji kaynaklarının azalması ve enerjiye olan ihtiyacın artması insanları alternatif enerji kaynaklarına ve enerjiyi verimli kullanmaya yöneltmektedir. Artan enerji ihtiyacı, enerjiyi daha verimli kullanarak zararsız, ucuz ve kolay bir yol ile elde edilebilmektedir. Enerjinin verimli kullanımı, aynı miktardaki üretimin daha az enerji kullanılarak gerçekleştirilmesi olarak açıklanabilir. Bilindiği üzere ülkemiz enerjiye olan ihtiyacının çoğunu dışarıdan karşılamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, sanayi sektöründe enerjinin verimli kullanılması önemli bir hal almaktadır. Sanayi sektöründe üretim kalitesi ve üretim miktarının düşmesine neden olmadan enerji tüketimini azaltarak verimlilik sağlanabilmektedir.

Sanayide enerji verimliliğini sağlamanın temeli, bilinçli ve etkili bir enerji yönetim programı geliştirmektir. Enerji yönetiminde en önemli kural enerjiyi üreten ve tüketen sistemlerin her zaman iyi durumda olmasını sağlamaktan geçer. Gerekli bakımlar ve iyileştirmeler yapılarak gereksinimler en iyi şekilde karşılanabilir. Başka bir tanımla Enerji Yönetimi Sistemi ürün kalitesinden güvenlikten veya çevresel tüm koşullardan feragat etmeksizin ve üretimi azaltmaksızın enerjinin daha verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır.

Enerji yönetim sisteminin başarılı olması için dört ana hedef bulunmaktadır [2].

Bunlar:

- Üretenin verimini artırmak (motor, kazan, kompresör, vb.),
- Tüketicinin kullanımını azaltmak,
- Yüksek güç tüketilen noktaları sürekli kontrol altında tutmak,
- Enerjiyi en ekonomik kullanmaktır.

Demir-Çelik endüstrisi enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerden birisidir.

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %12'sinin Demir-Çelik sektöründe tüketilmesi, bu sektörde kullanılan enerjinin büyüklüğünü ortaya koymaktadır ve bu enerji miktarının düşürülmesi çelik üreticileri için son derece önemlidir.

Bilecik Demir Çelik'te (BDÇ), ergitme ünitesi olarak indüksiyon ocakları kullanılmaktadır. İndüksiyonla ergitme, metal parçaların (şarj malzemesi) belirtilen

sıcaklık ve sürelerde ısıtmakta kullanılan temassız bir ısıtma ve ergitme yöntemidir.

Denetim ve yatırım kolaylığı, yüksek enerji verimliliği, yüksek elektrik iletim verimliliği, yüksek metalik malzeme verimliliği, tam otomatik üretime uygunluğu, göreceli düşük emisyon ve atık, çevre kirliliği yaratmaması gibi üstünlüklerinden dolayı indüksiyon ocakları son yıllarda demir – çelik sektöründe ilgi çekici hale gelmiştir.

### 1.2. Enerji verimliliği nedir?

Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir. Daha geniş anlamıyla enerji verimliliği, gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür [3].

### 1.3. İndüksiyon ocakları çalışma prensibi

Bir iletken, içinden alternatif akım geçtiğinde civarında alternatif manyetik alan oluşturur. Aynı şekilde iletken bir malzeme alternatif manyetik alanın içine girdiğinde üzerinde bir akım akışı oluşur. Bu akım, dıştaki mevcut manyetik alanı yok edici yönde bir zıt manyetik alan oluşturur. Zıt manyetik alanın şiddeti frekansın bir fonksiyonudur. Frekans arttıkça yüzeyde oluşan akım, zıt manyetik alan oluşturmada daha etkili olur. İndüksiyon bobini ve ocağın içerisindeki metal, İndüksiyon ocağının ergitme için gerekli en temel donanımını oluşturmaktadır. İndüksiyon bobininden geçirilen alternatif akım, sürekli yön değiştiren elektromanyetik değişken alanlar meydana getirir. Malzeme içerisinde oluşan bu endüktif elektrik alanları ise malzemenin öz direnci vasıtası ile ısı enerjisine dönüşür [4].

İndüksiyon ocaklarının içerisinde metal ve alaşımlarının ergitildiği bakır bobinlerin içerisinde geçen suyla soğutulan yüksek ısıya dayanıklı, refrakter malzemelerden oluşmuş bir hazne vardır ve bu hazneye ocak potası denir.

Ocak bobini, elektriksel kayıplardan meydana gelen ısıdan ve ergimiş banyonun konveksiyonla ısıtılmasından korumak için meydana gelen ısıyı dağıtmak üzere genellikle bir kapalı soğutma suyu devresiyle soğutulur. İndüksiyon ocaklarının kapalı devredeki soğutma-suyu

dolaşım miktarı ocak tipine, astarına, büyüklüğüne ve çalışılan güce göre değişmektedir.

Elektrik ile çalışan İndüksiyon ocaklarında özgül enerji tüketimini 600 kWh üzerine çıkararak çok sayıda kayıplar vardır. Bu kayıplar enerji tüketimini negatif yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmada sistem kayıpları, refrakter ve bobin/kablo soğutma suyu kayıpları, radyasyon kayıpları ile cüruf için harcanan enerji kayıpları hesaplanmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar:

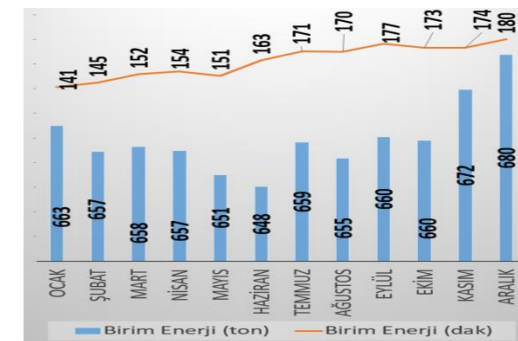
Bilecik Demir Çelik'te kullanılan İndüksiyon ocaklarında yapılan çalışmalarda 1 ton metalin 1600°C'ye çıkarmak için gereken ısı miktarı **358 kWh/ton** olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Fe'in belirli sıcaklıklardaki Cp değerleri

Fe Sıcaklık Aralığı	Cp <sub>Fe</sub>
25-760 °C	4,18+5,92x10 <sup>-3</sup> T cal/mol
760-908 °C	9 cal/mol
908-1401 °C	1,84+4,66x10 <sup>-3</sup> T cal/mol
1401-1537 °C	10,5 cal/mol
1537-1600 °C	10 cal/mol

$$\Delta H_{Fe} = \int_{T_1}^{T_2} C_{p(Fe)} dt + \Delta H_{erg.} \quad (1)$$

$$\Delta H_{(Fe)} = 358 \text{ kWh/ton}$$



Şekil 1. İO 2021 yılı birim enerjileri (kwh/ton)

Şekil 1'de BDÇ İndüksiyon ocaklarında kullanılan ton başına birim enerjileri görülmektedir.

İndüksiyon ocaklarında kullanılan enerji miktarı ortalama olarak 624 kWh/ton'dur. İndüksiyon ocaklarında yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılan 624 kWh/ton enerjinin 358 kWh/ton'u (%57,37) ergitme için kullanılan enerjidir.

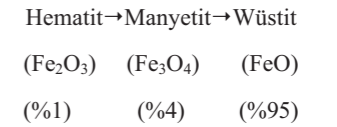
Geriye kalan enerji miktarları ise ocağın çalışma şartlarında gerçekleşen kayıplardır.

Bu kayıplar:

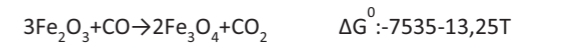
- Tufalin reaksiyonu için harcanan enerji kayıpları,
- İletim kayıpları,
- Refrakter kayıpları,
- Soğutma suları bobin kayıpları,
- Radyasyon kayıpları,
- Cüruf için harcanan enerji,
- Oksitlenme reaksiyonları

### 2.1. Tufalin reaksiyonu için harcanan enerji kayıpları:

İndüksiyon ocaklarında şarj sırasında kullanılan tufal ergime sırasında



dönüşümleri yapmaktadır.



Tufalin metalik demire dönüşümleri sırasında oluşan reaksiyonun sıcaklığa bağlı serbest enerji değişimi ( $\Delta G^0$ ) -5705-0,55 T dir. 1600 °C de tufalin ergimesi için gereken ısı miktarının formülü:

$$\Delta G_{1600} = \Delta G^0 + RT \ln K. \quad (2)$$

$$\Delta G_{1600} = 111,8 \text{ kWh}$$

$$= 4 \text{ kWh/ton} (\%0,64)$$

### 2.2 İletim kayıpları:

İndüksiyon ocaklarında ergitme bobinlerden geçen alternatif akımla meydana gelir. Bobinlerden akım geçenken oluşan iletim kaybı formülü:

$$Q = 4I^2 \times R_{Cu} \quad (3)$$

$$Q_{iletim} = 2892 \text{ kWh}$$

$$= 103,3 \text{ kWh/ton} (\%6)$$

### 2.3. Refrakter kayıpları:

$$Q_{\text{Refrakter}} = \frac{T_s - T_w}{R} \times 10^{-3} \quad (4)$$

( $T_s$ : 1600 °C  $T_{w\text{duvar}}$ : 45 °C  $T_{w\text{taban}}$ : 140 °C Duvar astar kalınlığı: 0,415 m Taban astar kalınlığı: 0,80 m R: 0,01 Kw)

$$Q_{\text{cdüvar}} = \frac{1600 - 45}{0,01 \times 0,415} \times 10^{-3} = 374$$

$$= 20,07 \text{ kWh/ton}$$

$$Q_{\text{ctaban}} = \frac{1600 - 140}{0,01 \times 0,80} \times 10^{-3} = 182 \text{ kW}$$

$$= 9,7 \text{ kWh/ton}$$

$$Q_{\text{ctoplam}} = 29,77 \text{ kWh/ton} \quad (\%5)$$

### 2.4. Soğutma suları bobin kayıpları:

Tablo2. Bobinlerden geçen su sıcaklıkları ve akış debileri

1.Bölüm Giriş Su Sıcaklığı	1.Bölüm Çıkış Su Sıcaklığı	1.Bölüm Akış (lt/dk)
37,2°C	47,2°C	2246
2.Bölüm Giriş Su Sıcaklığı	2.Bölüm Çıkış Su Sıcaklığı	2.Bölüm Akış (lt/dk)
37°C	43,1°C	2285

$$Q = m_{su} \times c_{psu} \times \Delta T_{su} \quad (5)$$

$$Q_1 = 2746 \text{ kWh}$$

$$Q_2 = 1536 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{toplama}} = 152 \text{ kWh/ton} \quad (\%24)$$

### 2.5. Radyasyon kayıpları:

$$Q_{\text{radyasyon}} = (q_{\text{cüruf}} - q_{\text{hava}}) \quad (6)$$

$$Q_{\text{radyasyon}} = \sigma \times \epsilon_{\text{cüruf}} \times (T_{\text{cüruf}}^4 - T_{\text{hava}}^4) \quad (7)$$

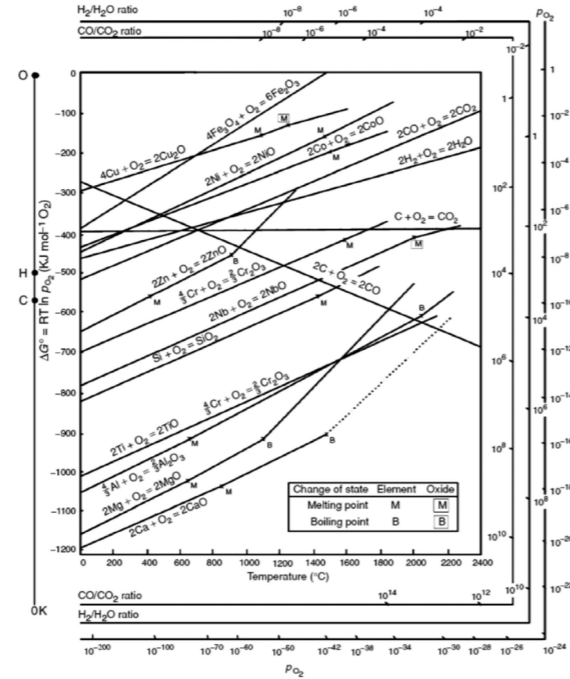
$$= 11,4 \text{ kWh/ton} \quad (\%2)$$

### 2.6. Cüruf için harcanan enerji:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (8)$$

$$= 17,57 \text{ kWh/ton} \quad (\%3)$$

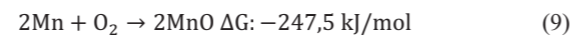
### 2.7. Oksitlenme reaksiyonları



Şekil 2. Oksitlenme reaksiyonları için ellingham diyagramı

[https://www.researchgate.net/figure/Ellingham-diagram-for-the-formation-of-oxides-based-on-their-standard-free-energy-of\\_fig2\\_313.886.183](https://www.researchgate.net/figure/Ellingham-diagram-for-the-formation-of-oxides-based-on-their-standard-free-energy-of_fig2_313.886.183)

### Manganoksit



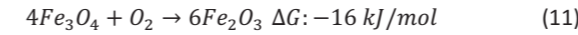
$$\Delta G = -13,4 \text{ kWh/ton} \quad (\%2)$$

### Silika



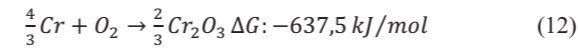
$$\Delta G = -30 \text{ kWh/ton} \quad (\%4)$$

### Manvetit



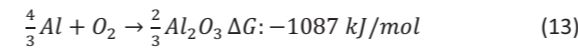
$$\Delta G = -0,02 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,003)$$

### Kromoksit



$$\Delta G = -1,07 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,1)$$

### Alümina



$$\Delta G = -30 \text{ kWh/ton} \quad (\%4)$$

### Titanyum



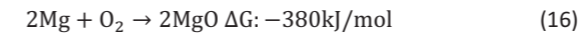
$$\Delta G = -1,3 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,2)$$

### Cinko



$$\Delta G = -0,02 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,003)$$

### Magnezyumoksit



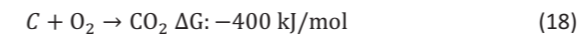
$$\Delta G = -1,6 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,2)$$

### Kalsiyumoksit



$$\Delta G = -2 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,3)$$

### Karbondioksit



$$\Delta G = -5,6 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,9)$$

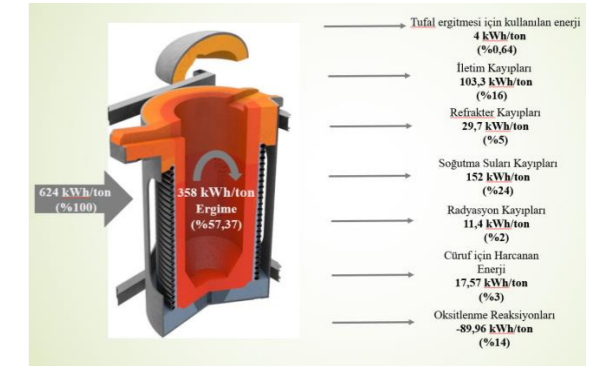
### Karbonmonoksit



$$\Delta G = -3,9 \text{ kWh/ton} \quad (\%0,7)$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışma:

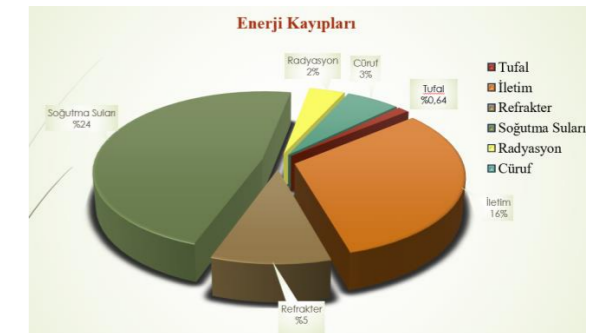
Yapılan hesaplamalar sonucunda bir döküm için ortalama kullandığımız 624 kWh/ton enerjinin sadece 358 kWh/ton'u ergitme için kullanılmaktadır. Bu da %57,37 verimliliği gösterir. Geriye kalan, ergitme için kullanılmayan enerji miktarı ise ocağın çalışması sırasında gerçekleşen kayıp oranlarıdır.



Şekil 3. BDÇ İ.O enerji denklığı Sankey diyagramı

Şekil 3'de verilen Sankey diyagramından da görüleceği gibi ocaklarda kullanılan enerjinin %57,37'si ergitme için kullanılırken, %0,64'ü tufalin eritilmesinde, %16'sı iletimde (bobin kaybı), %5'i refrakterde, %24'ü bobin soğutma sularında, %2'si radyasyon ve %3'ü cüruf için kaybedilen enerjidir.

Ocaklarda hurda demirin ergitme sürecinde gerçekleşen ve görüldüğü gibi ekzotermik olan oksitlenme reaksiyonlarından açığa çıkan enerji miktarı ise 89,96 kWh/ton'dur.



Şekil 4. Enerji kayıpları

Şekil 4'de görüldüğü gibi BDÇ İndüksiyon Ocakları'nın enerji kayıplarının büyük çoğunluğunu %24'lük kısım bobin soğutma suları oluşturmaktadır.

#### 4.Sonuç:

Sonuç olarak Bilecik Demir Çelik A.Ş.' de indüksiyon ocaklarında kullanılan enerji tüketim değerlerinin hesaplanması yapılmış ve hesaplamalar sonunda ergitme için gereken ısı miktarı 358 kWh/ton ve verim %57,37 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan özgül enerji miktarını 624 kWh üzerine çıkaran sistem kayıpları, refrakter ve bobin/kablo soğutma suyu kayıpları, radyasyon kayıpları ile cüruf için harcanan enerji kayıpları 228 kWh/ton olarak hesaplanmıştır ve bu da %36,6'lık kısmı oluşturmaktadır. Geriye kalan %6'lık kısım ise hesaplanamayan trafo kayıpları olarak belirlenmiştir. Tespit edilen bu veriler Tablo 3'de görüldüğü gibi farklı ocak üreticileri değerleri ve literatürdeki bilgilerle kıyaslanmış, detaylandırılarak literatüre kazandırılmıştır.

**Tablo 3.** Farklı ocak üreticileri değerleri ve BDC değerleri

	Birim Enerji kWh/ton	İletim Kayıpları	Bobin Kayıpları	Radyasyon Kayıpları	Cüruf	Verim	Verim (%)
ABP	683	38,5 (%5,7)	115,78 (%16,95)	11,95 (%1,75)	23,31 (%3,41)	467,41	68,44
LİTERATÜR	683,08	58,06 (%8,5)	109,29 (%16)	34,15 (%5)	21,56 (%3,16)	433,9	63,53
INDUCTOTHERM	683,08	35,18 (%5,15)	109,29 (%16)	136,62 (%20)	17,62 (%2,58)	358,26	52,46
BDC	624	103,3 (%16)	152 (%24)	11,4 (%2)	17,57 (%3)	358	57,37

<https://www.slideshare.net/NFTN/energy-efficient-melt-shop-operation>

#### Referanslar:

- [1]Prof. Dr. Mehmet Kanoğlu, Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, Mart 2010, Gaziantep.
- [2]S. Ener Ruşen, M. Koç / BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8 (4), 1478-1488, 2019 1482
- [3]Enerji Verimliliği Derneği (ENVERDER), 2010:29.
- [4]Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Metalurji Alanı, "İndüksiyon Ocağı" Ankara, 2006

## İkincil Metalürjide Alüminyum Katkısının Cüruf Kimyasına ve Metalik Geri Kazanıma Etkisi

The Impact of Additive Aluminum Bullions Upon Recycle of Alloying Elements in Secondary Metallurgy



Mert TURFANDA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

#### ABSTRACT

Secondary metallurgy in ladle furnaces being performed for refining of steel bath compositions to ensure and catch chemical % by mass of all alloying elements within tolerances of certain steel grades. The compositions also determines mechanical properties of semi-manufactured drawn billets in CCM and final product of rolled ribbed bars. Steel baths in LF may get prepared not only by adding various amounts of deoxidants as ferrosilicon and ferrosilicomanganese etc but also by recycling alloying elements from reduction reactions in kinetic balance between liquid steel and slag over the bath. In this study, the potential of alloying elements recovery has been focused and investigated by aliminum bullions as dominant deoxidant in a manner of productivity to set chemical compositions with less consumption of certain deoxidants.

#### 1. Giriş

Çelik üretim tesislerinde, birincil ergitme istasyonlarında sıvı banyo haline dönüştürüldükten sonra pota ocağı ünitesine alınır. Pota ocağı ünitesinde çeliğin analizi belirli kalite planına uygun şekilde için ikincil metalürjik işlemler çeliğin çeşitli ferroalyajlar kullanılır. Kalite planları sürekli döküm makinasına çeliğin farklı kesit formlarında çekilip soğutulduktan sonra çekme dayanımını, akma dayanımını, tokluğunu, % uzama kabiliyetini ve dahası olan mekanik özelliklerini belirler.

Bilecik Demir Çelik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nde birincil ergitme hattında hazırlanan dökümlerin analizini ergitilen hurdanın içeriği belirler. Eritilerek hazırlanan dökümler TS 708 BETONARME İÇİN YAPI ÇELİĞİ standardına uygun şekilde hazırlanır. Ergitme ünitesindeki dökümlerin son analizlerinde karbon (C), silisyum (Si), mangan (Mn) gibi temel alaşım elementlerinin bileşimi referans kaliteye göre düşük ya da fazla olabilir. Çeliğin alaşımlandırılması, FeSi ve FeSiMn ferroalyajlarının katkısı ile pota ocağında yapılır. Çeliğin ferroalyaj katkıları ile alaşım elementlerinin bileşimi hedeflenen limitlerde hazırlanırken, doğru cüruf kimyası ve oksijen giderme (deoksidasyon) koşulları ile inklüzyon yaratabilecek fosfor (P) ve kükürt (S) elementlerin tasfiye edilmesi, sıvı çeliğin saflaşması gerçekleşir. Oksijen giderme tepkimeleri dinamiğinde çeliğin

saflaşması sırasında çelikte çözülmüş serbest O<sup>2</sup> ve H<sup>2</sup> gazları alaşım elementleri ile ikili ve üçlü bağlar oluşturarak çelik ve cüruf arasındaki denge tepkimelerinde oksit, hidrat, silikat ve alüminat türleri oluştururlar. [1], [6]

Bahsedildiği gibi çelikteki alaşım elementleri ile cüruftaki metal oksitlerin yükseltgenme (oksidasyon) ve indirgenme (redüksiyon) dengesinde kükürt (S) ve fosfor (P) bileşimlerinin düşürülmesi mümkündür. [1] Bunun yanı sıra metal oksitlerin Gibbs serbest enerjilerinin nicelik (ΔG) ve metallerin yükseltgenme tepkimelerindeki oksijen aktivasyonu farkından dolayı cüruftaki metal oksitleri sıvı çeliğe indirgeyerek metalik geri kazanım aynı şekilde mümkündür. [4] Bu endüstriyel çalışmada oksijen afinitesi cüruf solüsyonunda bulunan oksitlerin metalik katyonlarından daha fazla olan alüminyumun külçe formundaki farklı miktarlardaki katkıları ile mangan (Mn) ve silisyum (Si) elementlerinin çelik banyosuna metalik geri kazanımı pratik edilmiştir.

#### 2. Cüruf Kimyasının Etkilediği Kavramlar

Cürufun pota ocağı çıkışındaki kimyasal bileşimi ve çelik banyosunun pota ocağı çalışmasındaki sıcaklığı, viskozite, baziklik ve optik baziklik gibi cürufun indirgenme kinetiğini etkileyen mühendislik kavramlarını belirler. Bu mekanizma gerekli cüruf akışkanlığı sınırlarında, geri kazanımı olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen bir döngüsel etki mekanizmasıdır.

##### 2.1. Viskozite

Cüruf kimyasında viskozite, cürufun içeriğinde bulunan oksitlerin kimyasal bileşimini ve bazikliğini deneysel (ampirik) olarak gösteren CaO/SiO<sub>2</sub> iyonik kuvvetlerin sebep olduğu polarizasyon hareketliliğe ve sıcaklığa bağlıdır. [2] Viskozite Arrhenius eşitliği (1) ile hesaplanabilir:

$$\eta = A \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (1)$$

**η:** Viskozite **A:** Viskozite Katsayısı **E:** Viskoz akışım aktivasyon enerjisi **T:** mutlak sıcaklık **R:** Gaz sabiti

Birinci ergitme istasyonunda, yüksek SiO<sub>2</sub> içerikli olarak hazırlanan cürufların yapısal olarak Si<sup>4+</sup> kationları çevresine tetrahedron olarak O<sup>2-</sup> anyonlarını çekerek cürufta yüksek asidik karakter göstererek (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup> silikat yapısı oluşturmaktadır. [2] Bu silikat yapısı içerisinde O<sup>2-</sup> kationları Si<sup>4+</sup> kationu ile yaptığı bağlar arasında hareketi sayesinde cürufların kafes yapısında kararsızlık yaratarak içyapıda sürekli değişken iyonik kuvvetler yaratmaktadır. [3] Bu sonuç birincil ergitme istasyonunun çelik cüruflarında döküm gerçekleştirildikten sonra sıcaklık etkisi viskozite yükseltmekte, cürufta akmazlığa sebep olmaktadır. Cürufların akmazlığı metalürjik ölçekte cüruflar ve çelik arasındaki indirgenme (redüksiyon) ve yükseltgenme (oksidasyon) denge tepkimeleri ile cüruftan sıvı çeliğe indirgenerek çeliğin Fe<sup>2+,3+,4+</sup>, Mn<sup>2+,4+</sup> ve Si<sup>4+</sup> elementlerinin geri dönüşümü ile zenginleştirilmesi için uygunsuz bir ortam koşuldur.

## 2.2. Baziklik ve Optik Baziklik

### 2.2.1. Baziklik

Baziklik kavramı cürufların bileşimi içerisinde bulunan oksitlerin bileşimi ile belirlenir. Baziklik cürufların içerisinde viskoziteyi arttıran bir etki gösterdiği halde doğru bileşim limitlerinde tutulduğunda çelik alaşımında fosfor ve kükürt tasfiyesinde önemli yer tutar. [1] Bazik indirgeyici cüruflar, kireç katkısı ile alaşım elementlerinin redüksiyonuna ve metalik kazanıma olumlu katkıları olduğu gibi istenmeyen fosfor ve kükürt elementlerinin metal cürufların denge tepkimelerinde cüruflara geçirilmesini sağlar. Baziklik eşitlikleri (2,3) aşağıdaki gibidir:

$$B_3 = \frac{\%CaO}{\%Al_2O_3 + \%SiO_2 + \%TiO_2} \quad (2)$$

$$B_4 = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%Al_2O_3 + \%SiO_2 + \%TiO_2} \quad (3)$$

### 2.2.2. Optik Baziklik

Cürufların içerisindeki oksitlerin cürufların solüsyonundaki gaz fazında çözünmüş serbest oksijen O<sup>2-</sup> derişimine olan duyarlılığı ve Pauling elektronegativite değerlerine göre belirlenir. [2] Asidik ve bazik karakterli her bir oksit bileşiminin yükseltgenme tepkimesindeki oksijen aktivitesi cürufların optik bazikliğini ihtiva eder. Optik baziklik Duffy eşitliği (4) ile hesaplanır. [3] Cürufların içerisindeki bazik ve asidik karakterli oksitlerin optik baziklik değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

$$\text{Optik Baziklik } (\Lambda) = \frac{\sum x_1 n_1 \Lambda_1 + \sum x_2 n_2 \Lambda_2 + \dots}{\sum x_1 n_1 + \sum x_2 n_2 + \dots} \quad (4)$$

$\Lambda$ : Optik baziklik  $x$ : Mol yüzdesi (%)  $n$ : Oksitin formülündeki oksijen atomu sayısı

Tablo 2. Optik Baziklik Değerleri

Metal Oksit	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Optik Baziklik	1,00	0,78	0,48	0,60	1,00	1,00	0,78

## 3. Deneysel Çalışma

Birinci ergitme istasyonundan çıkan dökümlerin ilk olarak ortalama 14-18 kg/ton kireç katkısı yapıldıktan sonra pota ocağında hedeflenen kalite standartlarında çelik banyosunun metalürjik olarak saflaştırma işlemi yapılır. Deneysel aşamada alüminyum katkısında silindirik preslenmiş alüminyum talaşların külçesi kullanılmaktadır.

İşletmede alüminyum katkısının yapılmadığı ve yapıldığı dökümlerde pota ocağı cüruflarının kimyasal bileşiminin değişimlerini incelemek adına seçilen dökümlerde yaklaşık ~2,65 kg gelen alüminyum külçeler kullanılmıştır. Cürufların kompozisyonu içinde metal oksitlerin indirgenme tepkimeleri ile metalik geri kazanım farklarını değerlendirmek adına dökümlere

- Alüminyum külçesi katkısı yapmadan 0 kg Al
- 1 adet Al presli külçe ≈ 2,65 kg
- 2 adet Al presli külçe ≈ 5,30 kg
- 3 adet Al presli külçe ≈ 7,95 kg katkıları yapılmıştır.



Resim 1. Pota Ocağı İstasyonunda Katkısı Yapılan Alüminyum Külçe Malzemeleri

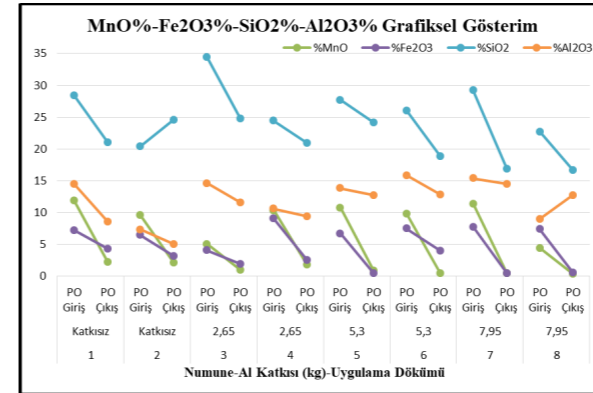


Resim 2. Alüminyum Külçelerin Üç Adet Numunesinden Ağırlık Sonuçları

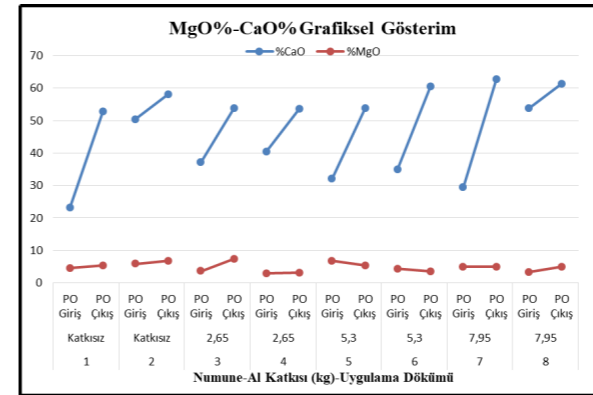
İşletmede ikincil metalürjik işlemlerin gerçekleştirildiği ve karbon, ferroalyajlar, kireç, cürufların akışkanlaştırıcı florit (CaF<sub>2</sub>) ve alüminyum katkısı ile oksijen giderme süreçlerinin gerçekleştirildiği pota ocağı istasyonunda, cürufların döküm tonaj içerisindeki oranı yaklaşık olarak 23 kg/ton çelik değerindedir. Buna göre deneysel süreçte kullanılan dökümlerin ferroalyajların miktarı, alüminyum katkıları, pota ocağı girişindeki ve çıkışındaki cürufların kimyasal bileşiminin XRF sonuçları, baziklik ve optik baziklik hesaplamaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneysel Olarak İncelenen Dökümlerin Cüruflarının Kimyasal Analizi ve Katkıları ve Sonuçları

Deneysel Dökümler	Analizler	%MnO	%CaO	%MgO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B3 Oranı	B4 Oranı	λ-OB
1	PO Giriş	11,89	23,22	4,54	7,23	28,41	14,50	0,54	0,64	0,674
	Katki	75 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	2,28	52,84	5,44	4,38	21,08	8,55	1,76	1,94	0,744
2	PO Giriş	9,58	50,37	5,88	6,46	20,40	7,34	1,79	2,00	0,760
	Katki	20 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	2,11	58,16	6,90	3,23	24,62	5,09	1,93	2,16	0,750
3	PO Giriş	5,01	37,19	3,62	4,03	34,38	14,57	0,75	0,83	0,667
	Katki	45 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	1,01	53,82	7,42	1,93	24,85	11,60	1,46	1,66	0,720
4	PO Giriş	10,31	40,45	2,86	9,01	24,40	10,61	1,14	1,22	0,723
	Katki	105 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	1,82	53,75	3,19	2,51	20,97	9,44	1,74	1,85	0,740
5	PO Giriş	10,75	32,13	6,78	6,68	27,67	13,81	0,77	0,93	0,692
	Katki	105 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	0,89	53,91	5,49	0,53	24,18	12,79	1,44	1,59	0,717
6	PO Giriş	9,80	34,95	4,31	7,47	26,04	15,84	0,83	0,93	0,696
	Katki	15 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	0,50	60,49	3,62	4,06	18,86	12,81	1,89	2,00	0,749
7	PO Giriş	11,38	29,51	4,96	7,74	29,21	15,36	0,66	0,77	0,683
	Katki	75 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	0,46	62,69	5,05	0,51	16,95	14,48	1,97	2,13	0,752
8	PO Giriş	4,41	53,81	3,28	7,38	22,72	8,97	1,68	1,78	0,744
	Katki	120 kg FeSiMn	200 kg kireç							
	PO Çıkış	0,34	61,42	4,96	0,56	16,68	12,75	2,06	2,23	0,756



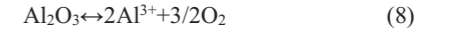
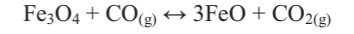
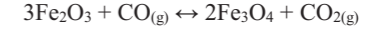
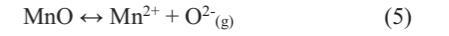
Grafik 1. PO Girişinde ve Çıkışında Yapılan Cürufların Analizlerinin MnO%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%, SiO<sub>2</sub>% ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>% Değişimleri



Grafik 2. PO Girişinde ve Çıkışında Yapılan Cürufların Analizlerinin CaO% ve MgO% Değişimleri

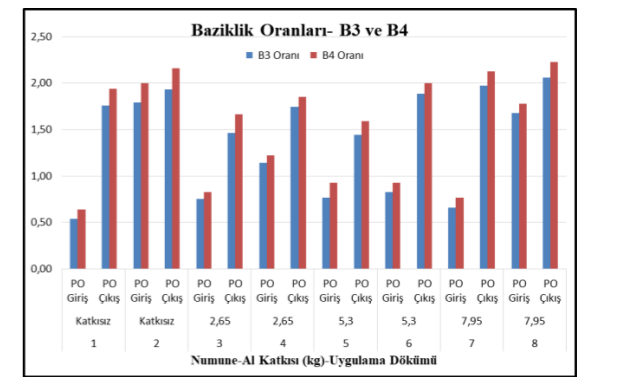
## 4. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Alüminyum külçe ilavesinin sonucuna göre ikincil metalürji işlemlerinde çelik içindeki çözünmüş serbest oksijen (O<sup>2-</sup>) ppm seviyesini azaltıcı yönde etkisi olmuştur. Al+O<sub>2</sub>→Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşumuna bağlı olarak çelikte serbest çözünmüş haldeki iyonik O<sup>2-</sup> derişimini düşürerek denge tepkimelerinde serbest çözünmüş oksijen miktarının tekrar dengelenmesi için



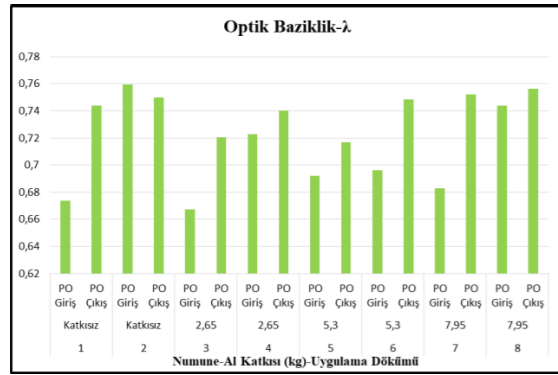
indirgenme reaksiyonları (5,6,7,8) kinetik olarak gerçekleşme koşulu hazırlanmıştır. İndirgenme tepkimeleri ile alaşım elementlerinin kation hale dönüşmüş, çeliğe geri kazanımı sağlanmıştır.

Kimyasal analiz hazırlama aşamasında kullanılan FeSi ve FeSiMn ilavelerinin yanında verilen ortalama 2,65 kg ağırlığındaki alüminyum külçelerin katkısı alaşımlamada mangan (Mn) ve silisyum (Si) yüzdelik bileşimlerinin artışına katkı değer katkı sağlamıştır. Alüminyum elementinin uygun viskozite, baziklik ve sıcaklık aralığında oksijen aktivasyonun yüksek olması, ikili olarak direkt oksidasyonu alümina (4Al+3O<sub>2</sub>→2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve üçlü olarak SiO<sub>2</sub>-CaO ile seramik faz oluşumuna ile neden olmuştur. Serbest oksijen seviyesi alümina ve diğer silisyum-kalsiyum içerikli alüminat fazları (Ca<sub>w</sub>Al<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>O<sub>z</sub>) ile sönmüştür. Bu sonuç silisyum ve mangan alaşım elementlerinin oksijen aktivasyonunu düşürerek cüruftaki oksitler arasındaki yükseltgenme dengesini etkilemiştir. Cürufların metal tepkimelerinde oksijen çözünürlüğü düştüğü için manganın ve silisyumun indirgenmesini tetiklemiş, manganı ve silisyumu çeliğe indirgeyerek metalik geri kazanım hedeflenen yüzdelik bileşimlerde gerçekleşmiştir.



Grafik 3. Baziklik Oranları (B<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>)





Grafik 4. Optik Baziklik (λ)

Grafik 3 ve Grafik 4'teki sonuçlar incelendiğinde baziklik ile cüruf viskozitesi arasında direkt bir ilişki olduğu görülmektedir. Refrakter oksitlerin cüruf içerisindeki bileşimi artmasına rağmen viskozite düştüğünde yapılan alüminyum katkıları, oluşan üçlü faz alüminat ve silikat türlerinden farklı  $Al_2O_3$  olarak ürün oluşumuna dönüştüğünde cüruf içerisindeki kafes yapısında bağ yapıcı olarak etki gösterir. Bu sonuç da bazikliği dengede tutarak cürufun akışkan ve indirgenmeye eğilimli olmasını sağlar. PO'da  $1580^{\circ}C-1680^{\circ}C$  arası çalışma sıcaklığında  $Fe_2O_3$  ve  $SiO_2$  hareketli oksijen anyonunun bağlarını kırarak alüminyum ile bağlanması gerçekleşir. İlk olarak  $AlO_4$  oluşumu ile metal-cüruf kinetiğinin serbest oksijen seviyesini ve oksit oluşum etkinliğini düşürerek kararlılık sağlar.

##### 5.Sonuç

Alüminyumun oksijen afinitesinin yüksek olması sebebiyle cüruf içindeki serbest oksijen ile oksitlenmesi sonucu diğer oksitlerin indirgenmesini sağlamış olup, oksitlerin yapısındaki elementleri çeliğe geri kazanımında metalürjik katkı sağlamıştır.

Farklı miktarlarda yapılan alüminyum külçe ilavesi ile alüminyumun yüksek yükseltgenme kapasitesi ile cüruf tepkime kinetiğinde kireçten gelen kalsiyumun (Ca) ve pota refrakter izolasyonundan gelecek magnezyum (Mg) ile beraber en baskın oksijen gidericiden biridir.

Bu bağlamda, pota ocağında yapılan alüminyum katkısı ile mangan, demir ve silisyum gibi elementlerin metalik alaşım zenginliği yönünden geri kazanımı hedeflenmiş ve denemesi yapılmıştır. Alüminyum katkısının yapılması ve sonrasında artırılması, çelik banyosunun söz konusu alaşım elementlerinde doğrusal geri kazanım sağlaması da  $1580^{\circ}C-1680^{\circ}C$  sıcaklığı arasında gerçekleşen metal cüruf denge tepkimelerinde metal oksit ürünlerden metal ürünler yönüne gerçekleşen indirgenme tepkimelerinin

aktivasyon koşullarını iyileştirmiş ve önemli ölçüde geri kazanım sağlanmıştır.

Alüminyum külçe ile yapılan pota ocağı ilavelerinde önceki PO ilave operasyonlarında tüketilen ferroalyaj sarflarına göre aynı mangan (Mn), silisyum (Si) yüzdelik bileşim artışı için daha az FeSi ve FeSiMn ilavesi tüketilmiştir. Alüminyum cüruf kimyasındaki  $SiO_2$  ve  $MnO$  üzerindeki baskın deoksidasyon etkisi ferroalyaj tüketimini azaltmıştır.

##### 6. Referanslar

- [1] Suguna Soumya Varanasi, Venumadhava Rao More, Anil Kumar Tangudu.: Dey Santanu.: "Slag Modelling for Effective Desulphurization in Ladle Furnace Refining". "Research and Development Centre, RINL-Visakhapatnam Steel Plant, Visakhapatnam, İndia, Steel Melt Shop-2, RINL-Visakhapatnam Steel Plant, Visakhapatnam, India."
- [2] D.Gosh, V.A. Krishnamurthy, S.R. Sankaranarayanan.: "Application of Optical Basicity to Viscosity of High Alumina Blast Furnace Slags" "Department of Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology Tiruchirappalli, Tiruchirappalli – 620 015, India"
- [3] Duffy, J.A., Ingram, M.D.: "Journal of the American Chemical Society,93,1971
- [4] Z. Slovic, Lj. Nedeljkovic, K.Raic, Z.Odanovic.: "Relationship Between the Common Optical Basicity Models and the Sulphide Capacities of  $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO$  Slag", October 2011.
- [5] Takashi NAKAMURA, Takeshi YOKOYAMA, James M. TOGURI, : "Limitations in the Metallurgical Application of Optical Basicity", September 1992, p.206.
- [6] Chunyang Liu, Yi Jia, Lixia Hao, Shaowei Han, Fuxiang Huang, Huixiang Yu, Xu Gao\*, Shigeru Ueda and Shin-ya Kitamura "Effects of Slag Composition and Impurities of Alloys on the Inclusion Transformation during Industrial Ladle Furnace Refining" School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science & Technology Beijing, 30 Xueyuan Road, Haidian Distinct, Beijing 100083, China;

## Demir – Çelik Tesislerinde Zirkonya Atıklarının Geri Kazanım Modeli

The Recycling Model of Zirconia Waste in Iron - Steel Plants



Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

##### Abstract

According to the steel production data of 2020, Turkey is the 7th largest steel producer in the world and the largest steel producer in Europe. The consumption and production demand of the iron and steel industry causes the problem of raw material and energy availability. However, it creates serious opportunities in terms of demand for alternative raw materials and sustainable waste management & reduction of environmental impacts. According to the data of the Turkish Statistical Institute (TUIK), it has been stated that approximately 25,000 tons of zircon has been used in our country in 2020, and the refractory and ceramics industry has been explained as two important sectors in which the use of zircon is intense, 98% of which is imported. Zircon is a very important raw material for these two sectors in terms of high temperature and mechanical properties. In Bilecik Iron and Steel, 15,000 zirconia nozzle (~24,9 tons) waste is generated annually, and approximately 3,5 tons of this amount is zirconia waste.

In this study,

- 1) minimizing the waste of the zirconia nozzles used and creating less waste, one step closer to our goal of being a green production facility,
- 2) ensuring the transition from the linear economy model to the circular economy model,
- 3) to provide raw materials to the completely imported zircon market and to contribute to the country's economy by reducing foreign dependency,
- 4) to expand zircon recycling or recycling activities in another field and to ensure that other companies create a recycling culture,
- 5) it is aimed to reduce environmental effects such as  $CO_2$  emission, energy using and pollution of water resources, which occur as a result of the synthesis of zircon by the Kroll Method, by recycling zircon.

In order to achieve the above-mentioned goals, firstly, the zirconia nozzle changing parameters in the continuous casting machine (CCM) were checked and new parameters were determined in order to reduce the waste at the out point. Then, zirconia nozzle wastes were collected with a qualified waste collection approach and these wastes were categorized as alumina, zirconia and metal sheet wastes suitable for their purpose. Post-mortem analyzes were carried out for the

collected zirconia wastes, and the product classes were determined and the feedback of the sector representatives was evaluated. As a result of this study, a total of \$ 195,000 financial gain was obtained from the recycled waste. In terms of the environmental aspect (Life Cycle Assessment), 80,5 tons of water and 7,2 kWh of energy were recovered and 3,2 tons of carbon emissions were prevented.

##### Özet

2020 yılı çelik üretim verilerine göre Türkiye, Dünya'nın 7. büyük çelik üreticisi ve Avrupa'nın en büyük çelik üretici konumundadır. Demir-Çelik sektörünün tüketim ve üretim isteği hammadde ve enerji bulunabilirliği sorununa neden olmaktadır. Bununla birlikte alternatif hammaddelere olan talebi ve sürdürülebilir atık yönetimi & çevre etkilerinin azaltılması konularında ciddi fırsatları ortaya çıkarmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde 2020 yılında yaklaşık 25.000 ton zirkon kullanıldığı belirtilmiş ve refrakter ve seramik sektörü %98'i ithal edilen zirkonun kullanımının yoğun olduğu iki önemli sektör olarak açıklanmıştır. Zirkon yüksek sıcaklık ve mekanik özellikleri bakımında bu iki sektör için oldukça önemli bir hammaddedir. Bilecik Demir Çelik'de, yılda 15.000 adet zirkonya nozul (~24,9 ton) atığı oluşmakta ve bu miktarın yaklaşık 3,5 tonu zirkonya atığını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada,

- 1) kullanılan zirkon nozulların atığını minimize edip daha az atık oluşturmak, daha yeşil üretim tesisi olma hedefimize bir adım daha yaklaşmak,
- 2) doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçişi sağlamak,
- 3) tamamı ithal edilen zirkon piyasasına, hammadde sağlayabilmek ve dışa bağımlılığın azaltılmasıyla ülke ekonomisine katkı sağlamak,
- 4) zirkon geri dönüşümü ya da bir başka alanda geri dönüşüm faaliyetlerini yaygınlaştırmak ve diğer firmaların da geri dönüşüm kültürü oluşturmasını sağlamak,
- 5) zirkonun Kroll Metodu ile sentezlenmesi sonucu ortaya çıkan  $CO_2$  salınımı, enerji kullanımı ve su kaynaklarının kirletilmesi gibi çevresel etkiler, zirkonun geri kazanımı ile azaltılması amaçlanmıştır. Yukarıda belirtilen hedeflere ulaşabilmek için birinci olarak, atığı çıkış noktasında azaltmak için sürekli döküm makinesi (SDM)'nde zirkonya

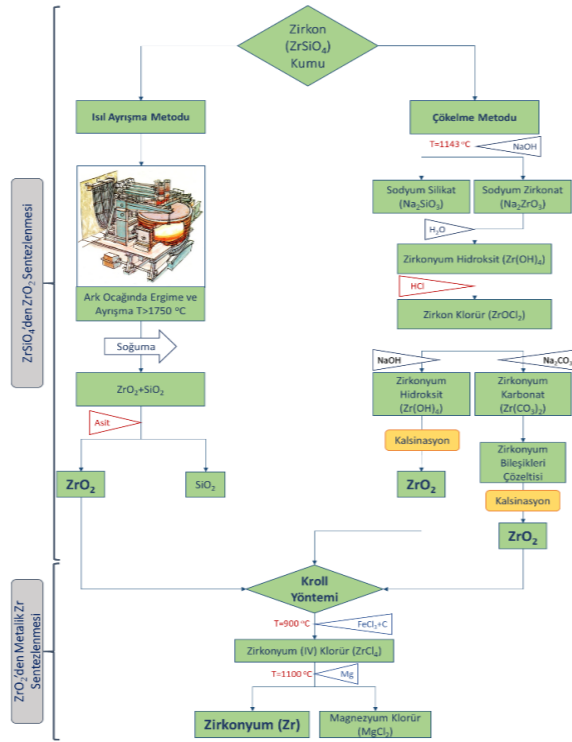
nozlu değiştirme parametreleri gözden geçirilmiş ve yeni parametreler belirlenmiştir. Daha sonra ise zirkonya nozul atıkları, nitelikli atık toplama yaklaşımıyla toplanmış ve bu atıklar amacına uygun alümina, zirkonya ve metal sac atıklar olarak kategorize edilmişlerdir. Toplanan zirkonya atıklar için post-mortem analizler yapılarak ürün sınıfları belirlenmiş ve sektör temsilcilerinin geri bildirimleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda geri kazanılan atıklardan kaynaklı toplam 195.000 \$ maddi kazanç elde edilmiştir. Çevre boyutu (Yaşam Döngüsü Analizi-Life Cycle Assessment) bakımından ise 80,5 ton su ve 7,2 kWh enerji geri kazanılmış ve 3,2 ton karbon salınımının önüne geçilmiştir.

## 1. Giriş

Zirkonyum parlak gri renkte, periyodik cetvelin 4B grubunda bulunan ve atom numarası 40 olan bir geçiş elementidir. 1800°C'de eriyen zirkonyumun kaynama derecesi 4300°C'dir. Zirkonyum doğada saf halde bulunmamaktadır. Saf zirkonyum metalini elde etmek, bu bileşimin sürekli benzer kimyasal yapıdaki Hafniyum ile bulunmasından dolayı zordur. Zirkonyumun bilinen mineralleri, zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ) ve zirkonyum oksittir ( $ZrO_2$ ). Zirkonyum silikata "zirkon", zirkonyum oksite ise "zirkonya ya da baddeleyit" denmektedir. Günümüzde, zirkonyum çoğunlukla zirkonyum silikat ( $ZrSiO_4$ ) ve zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ) minerallerinden Şekil 1'de gösterilen Kroll Prosesi ile elde edilmektedir [1]. Zirkon, dünyada geniş alana yayılmış yaygın olarak kullanılan bir ticari mineraldir. Dünya zirkonyum rezervleri  $ZrO_2$  cinsinden 74 milyon ton olarak belirlenmiştir. Dünyanın en büyük rezervleri Avustralya (%64), Güney Afrika (%19) ve Hindistan'dır (%5). Dünya zirkonyum mineral üretimi 2015 yılında 1,34 milyon ton olarak tahmin edilmiştir. Avustralya, Güney Afrika, ABD ve Mozambik zirkonyum minerallerinin başlıca üreticileridir (Tablo 1) [2,3].

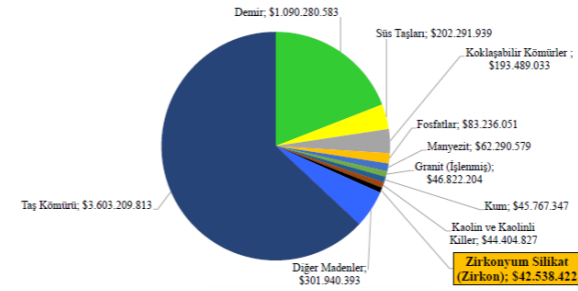
**Tablo 1.** Zirkonyum dünya rezerv miktarları [2,3]

Ülke	Dünya: Toplam	Avustralya	Çin	Hindistan	Mozambik	Güney Afrika	ABD	Diğer
Rezervler (1000 ton $ZrO_2$ )	74.000	47.000	500	3.400	1.800	14.000	500	7.200



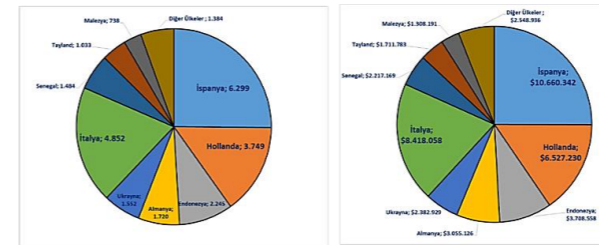
**Şekil 1.** Kroll prosesi [1]

Türkiye sahil kumları içinde yer yer önemli miktarlarda konsantrite olmuş zirkona rastlanmaktadır. Burada zirkon çoğunlukla manyetit, ilmenit, rutil gibi ağır minerallerle beraber bulunmaktadır. İnce boyutta zenginleşme yatınlığı Türkiye sahil kumlarında oldukça belirgin bir özelliktir. Ancak bugünkü zirkon fiyatları göz önüne alındığında bu zirkon yataklarının madenciliklerinin ekonomik önem taşımadığı görülmektedir. Bu yüzden ülkemizde üretim yapılmamakta ihtiyacın tamamı dış alım olarak gerçekleştirilmektedir. Dışa bağlı olduğumuz bu malzemenin özelliklerinin değişmeden ve/veya kullanılacak yerdeki toleranslar dâhilinde kısmen kaybederek geri kazanılması bu projenin yenilikçi yönlerinden birisidir. Maden Teknik Arama (MTA) genel müdürlüğünün "Maden ve Enerji Hammaddelerinde Ulusal ve Uluslararası Üretim, Tüketim, İthalat, İhracat Kriterleri ve Kritik Hammadde Öngörülerini Doğrultusunda Arama ve Araştırma Faaliyetleri Gerçekleştirmek ve Ülkemizdeki Rezerv Güvenilirliğini Sağlamaya Katkıda Bulunmak" stratejik amacı doğrultusunda, ülkemiz madencilik sektörünün dış ticaret verilerine göre ilk 10 maden ürünümüz Şekil 2'de belirtilmiştir. Toplam maden ithalatımızdaki 10 ürünün payı %94,7 civarında olup zirkonun bu pastada payı ise %0,74'tür [4,5].



**Şekil 2.** Dış ticaret verilerine göre ilk 10'da yer alan madencilik ürünleri [4,5]

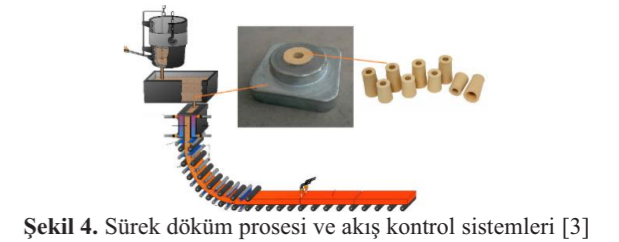
TÜİK 2020 verilerine göre ülkemizde zirkon ihtiyacının büyük çoğunluğu, ithalatçı firmalar tarafından başta İspanya ve İtalya olmak üzere Hollanda, Ukrayna, Avustralya, Hindistan, Almanya, İngiltere, Güney Afrika Cumhuriyeti'nden karşılanmaktadır (Şekil 3). 2020 yılında Türkiye'nin yıllık zirkon ihracatı yaklaşık 25.056 ton/yıl, ihracat değeri toplamı ise 42.538.422\$ olarak gerçeleşmiştir [4,5]. BDÇ'de ise kullanım miktarı yaklaşık 3,5 ton'dur.



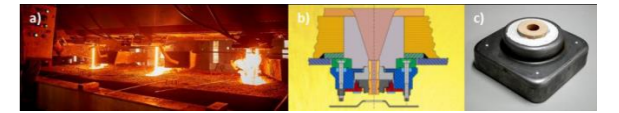
**Şekil 3.** 2020 yılında Türkiye'nin zirkon ihracat miktar ve değerleri [3]

### 1.1. Demir-çelik tesislerinde zirkonya atıklarının oluşumu

Sürekli çelik üretim prosesinde; ergimiş metal, ocaklardan potaya aktarılır. Alaşım, gaz giderme gibi pota metalurjisi işlemlerinin ardından optimum sıcaklığa ulaştığında pota sürekli döküm makinesine (SDM) taşınır. Ergimiş çelik, tandişten akış kontrol mekanizmalarından biri olan zirkonya nozulları yardımı ile açık tabanlı bakır kalıba boşaltılır (Şekil 4). Şekil 5a'da sürekli döküm akım şeması gösterilmiştir [2,3].



**Şekil 4.** Sürekli döküm prosesi ve akış kontrol sistemleri [3]

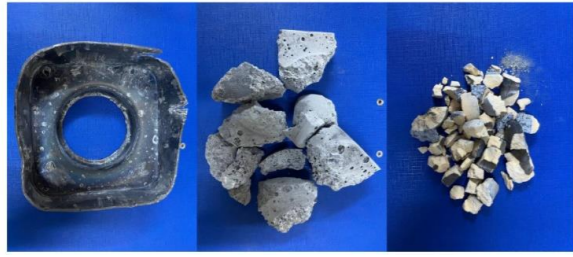


**Şekil 5.** a) Tandis akış gösterimi, b) tandis akış kontrol mekanizması ve c) değiştirilebilir zirkonya nozul

Bu değiştirilebilir nozullar, tandişin alt kısmına sabitlenmiş bir akış kontrol mekanizmasının (Şekil 5b) içerisine yerleştirilir. Kullan-at tipindeki bu nozullar, tandişlerde kullanıma hazır olarak üretilmektedir. BDÇ'de benimsediğimiz ve kapsamını sürekli genişletmeye çalıştığımız "Yerinde Kaynak Verimliliği" anlayışı gereği önceliğimiz nozulların kullanım performanslarını en yüksek seviyeye endeksleyerek daha az zirkonya nozul kullanmak ve buna bağlı olarak atık oluşumunu minimize etmektir. Bu süreçte atık oluşumunu azalttığımız halde kullan-at nozulların doğası gereği kullanılan miktar kadar zirkonya nozul atığı oluşması kaçınılmazdır. Zirkonya nozullar, geçmiş yıllarda yekpare olarak üretilirken günümüzden hammadde rezervlerinin durumu ve ekonomik kaygılar nedeniyle hibrit yapıda (Şekil 5c) üretilmeye başlanmıştır [2,3]. Günümüz zirkonya nozulları, 3 farklı kısımdan oluşmakta olup aynı zamanda 3 farklı atık oluşumuna neden olmaktadır. Bunlar; metal saç kısmı, alümina ( $Al_2O_3$ ) refrakter kısmı ve zirkonya nozul kısmıdır. BDÇ'nin yürüttüğü faaliyetler kapsamında metal saç ve  $Al_2O_3$  refrakter kısımları tesis içerisinde direkt olarak kullanılmakta "Kullan-At Ekonomisinden Döngüsel Ekonomiye Geçiş" in iyi uygulama örneğini temsil etmektedir. Bu doğrultuda, yürütülen proje zirkonya nozulların geri kazanımı yani atıktan ürüne dönüşüm bilinci ile yeşil ve büyümenin ortak payda da buluşturulması amaçlanmıştır. Zirkonyanın değerli bir hammadde olması, Türkiye'nin bu malzemede dış bağımlı olması ve kullan-at zirkonya nozulların demir-çelik sektöründe yaygın kullanılmasından dolayı atık oluşumu ve bu atıkların değerlendirilememesi bu projenin hayata geçirilmesinde ana motivasyon kaynaklarıdır.

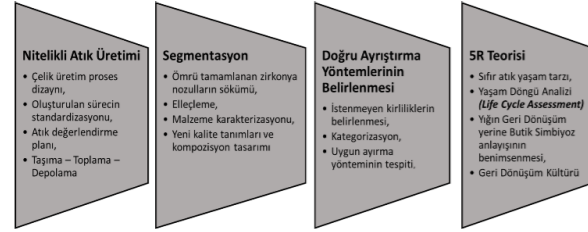
### 1.2. Geri kazanım modeli

Yığın geri dönüşüm yerine butik simbiyoz anlayışını benimsediğimiz bu projede, önceliğimiz atığın yerinde azaltılmasıdır. Bu nedenle tandiş zirkonya nozul atığının minimize edilmesi için kaynağında saha çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 6. Alümina, zirkonya ve metal atık

Aynı zamanda temelde 3 farklı malzemenin birleşimi ile oluşan hibrit yapı, kontrollü şekilde ayrılmış ve kendi içinde kategorize edilmiştir. Cüruf ve çelik gibi bünye içerisine yapışmış istenmeyen kirlilikler tespit edilmiş ve temizlenmiştir. Ayırma sonucunda alümina, zirkonya ve metal atık olmak üzere Şekil 6'da belirtildiği gibi üç tip ürün ortaya çıkmıştır. Alümina ve zirkonya yapının refrakter malzemelerini oluşturmada olup ayırma sırasında nitelikleri korunmuştur. Proje ana hedeflerimizden biri olan nitelikli ayırma yöntemi ile malzemenin işe yarayan ve yaramayan kısmının karışmaması sağlanmıştır. 4 aşamalı geri kazanım modeli belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Zirkonya nozul geri kazanım modeli

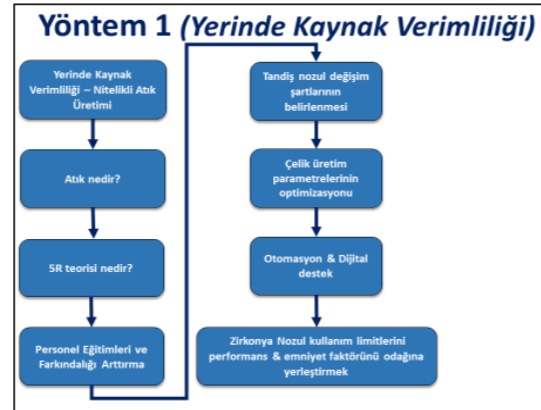
### 1.3. Yönetimin liderliği

Projenin uygulanma sürecinde hedeflenen kazanımlar, kazanımın nasıl elde edileceği veya geliştirileceği konusunda üst yönetimin üstleneceği rol çok önemlidir. İşletmeler içinde mevcut kaynakları kullanmak için daima bir rekabet vardır. Proje sürecinde var olan yüksek belirsizlik oranı projeyi bu yarışın dışında bırakabilir. Üst yönetimin projeye katılımı, projenin amaç ve önemini anlamalarına yardımcı olur. Bu farkındalık ve üst yönetim desteği krizler ve çatışmaları önler ve belirsizlikleri ortadan kaldırır. Her bir proje safhasında katılanlar arasındaki iyi bir koordinasyon kurulması sürekli bir bilgi değişimini gerektirir. Genelde, eğer otorite hatları eğer iyi tanımlanmışsa, proje takımı içindeki ve organizasyonun diğer kısımları ile ilişkiler daha kolay olur. Projenin organizasyonel yapısı iletişim kanallarını ve kimin kime bilgi aktarmakla yükümlü olduğunu belirlemelidir. Bu genellemeler ışığında, yönetim ekibi projenin akışı içerisinde belli aralıklar ile izleme ve değerlendirme sonucu toplanan veriler doğrultusunda gerçekleştirme oturumları düzenlemiş olup tespit edilen

uygunsuzluklar ile ilgili proje ekibini bilgilendirmiş ve yalın bir süreç ve üretim hattı için yenilikler tasarlanmıştır. Proje ekiplerinin her üyesine, geri kazanım eğitimi, iş konsantrasyonu sağlama, projenin fikir ve kapsamının ön değerlendirmesi, sürecin uygulama hattı, iş gücü ve tedarik gereksinimleri, iş güvenliği kuralları, süreç çıktıları ve hedefleri anlatılmıştır. Farklı birim ve istasyonlardaki tüm ekip için aylık olarak performans değerlendirmesi yapılmış olup, bireysel ve kitlesel olarak takım motivasyonunu en yüksek seviyede tutmak için yine aylık olarak ödüllendirme stratejileri ve takdir politikaları izlenmiştir.

### 1.4. Çalışma yöntemi ve kullanılan teknikler

Proje, 1) zirkonya nozul atığının minimuma indirgenmesi, 2) oluşan zirkonya nozul atığının atık durumundan çıkarılıp ürüne dönüştürülmesi (ikincil zirkonya), 3) endüstride kullanılan malzemelerin geri kazanım potansiyellerinin fark edilmesine örnek oluşturmak ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak ve 4) hammadde üretimlerinin çevreye verdiği zararları azaltmaya teşvik etmek gibi 4 ana motivasyona sahiptir. Bu 4 maddeyi gerçekleştirebilmek adına sürecinin iyi yönetilmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Proje sürecinin iyi yönetilmesi ve iyi tasarlanması için kapsamlı bir plan yapmak birinci koşuldur. Yukarıda da bahsedildiği üzere Yerinde Kaynak Verimliliği uygulamaları bu projenin ana hedeflerinden bir tanesidir. Bu noktada ikincil zirkonya üretimine geçmeden önce çıkan zirkonya nozul atıklarını yerinde kaynak verimliliği uygulayarak indirebildiğimiz minimum seviyeye indirmeyi amaçladık ve bu doğrultuda iki yöntem belirledik. Yöntemlerin birincisi çıkan atığımızı en aza indirgeyebilmek için tasarlanmış olup Şekil 8'de gösterilmiştir. İkinci yöntem ise atık durumundaki hibrit zirkonya nozuların ürüne dönüştürülmesini kapsamaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. Yerinde kaynak verimliliği



Şekil 9. Atıktan ürüne dönüşüm

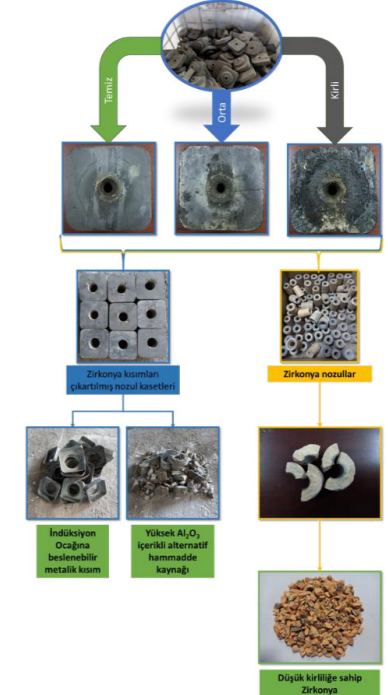
### 2. Deneysel Çalışmalar

BDÇ'nin tedarik ettiği proje çıktısı zirkonya nozul atığının orijinal ürün reçetesi Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Zirkonyum nozul ürün reçetesi

Kimyasal Analiz	A Quality
%min ZrO <sub>2</sub>	95,5 - 96
% MgO	2,4 - 3,3
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
% SiO <sub>2</sub>	0,3

Temelde 3 farklı malzemenin birleşimi ile oluşan hibrit yapı, Şekil 10'da görüldüğü gibi farklı aşamalardan geçerek kontrollü şekilde ayrılmış ve kendi içinde kategorize edilmiştir. Cüruf ve çelik gibi bünye içerisine yapışmış istenmeyen kirlilikler tespit edilmiş ve temizlenmiştir. 3 farklı kalite reçetesi oluşturulmuş, 3,5 ton/yıl zirkonya atığın %55'i yüksek kalite (orijinal ürüne birebir benzer analiz), %25'i orta kalite ve %20'si düşük kalite olarak belirlenmiştir. Değer önerilerimizden biri olan müşteriye maliyet stabilizasyonu sunma boyutu, 3 farklı kalitenin farklı satış fiyatı belirlenmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 11).



Şekil 10. Atıktan ürüne kontrollü ayırma



Şekil 11. 4 aşamalı değer önerisi

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yürütülen bu proje, hedeflerine büyük ölçüde ulaşılmış olup yapılan faaliyetler aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

#### 3.1. Tandış zirkonya nozul atıklarının azaltılması

Yerinde Kaynak Verimliliği anlayışı gereği çıkan atığın yerinde azaltılması için çelik üretim prosesleri optimize edilmiştir. Optimizasyon süreci tamamen dijitalleşme odaklı olup istikrarlı proses ve değişkenliklerin minimuma indirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 8). Bu süreçte atığın çıkmış olduğu sürekli döküm makinası ekibine konu hakkında eğitim verilmiştir. İnsan sermayesi yaklaşımı ile şirket hedeflerine ulaşmada en önemli kaynak olan çalışanların yetkinliklerinin ve farkındalık becerilerinin geliştirilmesi ve tüm çalışanlara sağlıklı ve güvenli bir ortam sunulması için

yaşayarak öğrenme modeline uygun eğitim modülleri ile bilgilendirmeler yapılmış, atık yönetimi ve geri dönüşüm ile daha fazla verimlilik konulu eğitimler düzenlenmiştir.

### 3.2. Butik simbiyoz anlayışıyla atık geri kazanımı

Geleneksel atık toplama ve ayrıştırma yöntemlerinden farklı olarak malzemenin orijinalini koruyan, çalışma ortamı nedeniyle degradasyona uğramamış, orijinali bozan yapılardan ayrıştırılmış, kendi içerisinde de kategorize edilmiş olup yığın geri dönüşüm yerine butik simbiyoz anlayışı benimsenmiştir. Hibrit yapıdaki atık zirkonya nozulları kirlilik durumlarına göre ayrıştırılırken temiz olan bölgenin malzeme kalitesinin ve ekonomik değerinin düşürülmemesi için kirlilik olarak kabul edilen kısımdan ayrılmıştır. Endüstriyel ölçekte uygulanabilir en iyi yöntemin basamaklarında da bu detaya dikkat edilerek işlemler yapılmıştır. Talebe göre ürün, müşteriye formülasyon ve teknik destek esnekliğinin sunulması bu projenin yenilikçi yönlerinden biridir.

### 3.3. Çevre etkilerinin azaltılması ve ekonomik toparlanma

Zirkon madenciliğindeki en önemli çevresel etkiler ise, maden yataklarını ortaya çıkarmak için bitki örtüsünden arındırılması gereken geniş arazi alanlarıdır. Bu işlemler arttıkça, ekosistemde yer alan habitat, tür çeşitliliği ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve hatta türlerin yok olmasına neden olabilmektedir. Tüm maden ayırma süreçlerinde olduğu gibi bu sürecinde en büyük çevresel etkisi elektrik kullanımıyla ilgilidir. Diğer önemli etkiler ise zirkon kumunun taşınmasından ve cevher hazırlama prosesinden kaynaklanan toz, tozuma ve radyoaktif parçacıkların sağlık üzerindeki etkileridir. Madencilik işlemlerinde, ekskavatörler, kamyonlar ve buldozerler gibi çeşitli dizel yakıtlı makineler kullanılmaktadır. Mevcut altyapıdan uzakta bulunan maden kumu tesislerinde elektrik üretmek için yerel dizel elektrik santrali bulunurken, diğer madenlerde dizel ile çalışan yedek jeneratörlere sahip olabilir. Bu durum emisyonu karşılık gelir. Avustralyalı zirkon madencilik şirketleri tarafından bildirilen, ağırlığa göre en büyük beş emisyon ise partikül madde, karbon monoksit, nitrojen oksitleri, kükürt dioksit ve uçucu organik bileşiklerdir.

Bunun yanında zirkonya üretim metodlarının her bir basamağı zincirleme reaksiyonları kapsar. Zirkon kumundan zirkonya sentezlenmesi için kullanılan iki yaygın method "Isıl Ayrıştırma ve Çökeltme Methodu" peş peşe gerçekleşen kimyasal reaksiyonları, korozif ortam ve yüksek sıcaklık operasyonlarını kapsar. Her bir aşamada ergitme ve kalsinasyon için enerji, çökeltme için su, kostik soda, sodyum karbonat, hidroklorik asit gibi çözücüler kullanılmaktadır. Avustralya'da 2009 yılı verilerine göre 1 kg zirkon üretimi için ortaya çıkan emisyonlar ve kaynak tüketimi tablosu Tablo 3'te belirtilmiştir. Bu veriler

kullanılarak Türkiye'nin yıllık ihtiyacını karşılayan zirkonun fiziki etkileri de hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** 1 kg zirkon üretiminde ortaya çıkan emisyon değerleri ve kaynak tüketimi [1]

*Çevre Etki Kategorisi	Birim	Üretilen kg Zirkon Başına Etki	Dünya Üretimine % Önem Verisi	**Türkiye zirkon ihtiyacının çevre etkisi (ton)	***BDC yılık zirkon ihtiyacının çevre etkisi (kg)
Seri Gazları (Greenhouse gases)	[kg] CO <sub>2</sub>	0,922	37%	0,0	3.227
Asidifikasyon Potansiyeli (Acidification potential)	[kg] SO <sub>2</sub>	0,001	34%	0,0	3,5
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (Photochemical ozone creation potential)	[kg] Ethene	0,000256	34%	0,0	0,9
Otrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential)	[kg] Phosphate	0,000205	34%	0,0	0,7
Partikül Madde (Particulate matter in air)	[kg]	0,0152	34%	0,0	53,2
Su Kullanımı (Water usage)	[kg]	23	37%	0	80.500
Enerji Kullanımı (Energy usage)	[kWh]	0,00206	35%	0,0	7,2

\*\*Avustralya'da 2009 yılı verilerine göre 1 kg zirkon üretimi için emisyonlar ve kaynak tüketimi  
\*\*\*Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 verilerine göre elektrik 2020 yılı zirkon ihtiyacı 25056 ton'dur.  
\*\*\*\*Bilecik Demir Çelik 2020 yılı zirkonya atığı 3,5 ton'dur.

Zirkon Sanayicileri Derneği (ZIA) tarafından 2017 yılında derlenen ve dünya zirkon üretiminin %77'den fazlasını temsil eden rapor baz alınarak Türkiye ve BDC'nin yıllık zirkon ihtiyacının çevreye olan etkisi hesaplanarak Tablo 4'te belirtilmiştir.

**Tablo 4.** 1 kg zirkon üretiminde ortaya çıkan emisyon değerleri ve kaynak tüketimi [6]

*Çevresel Göstergeler	Üretilen kg Zirkon Başına Etki	**Türkiye zirkon ihtiyacının çevre etkisi (ton)	***BDC yılık zirkon ihtiyacının çevre etkisi (kg)
Abyotik Tüketim Ölçütleri (Abiotic Depletion Element: ADPE [kg Sb eq])	0,0000011	0,0027562	0,000385
Abyotik Tüketim Foaibi (Abiotic Depletion Fossil ADPF [MJ])	38	952,128	133,000
Asidifikasyon Potansiyeli (Acidification potential: AP [kg SO <sub>2</sub> eq])	0,0026	65	9,1
Otrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication potential: EP [kg Phosphate eq])	0,0024	6	0,84
Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential: GWP [kg CO <sub>2</sub> eq])	0,32	8,018	1120
Ozon Tüketimi Potansiyeli (Ozone Depletion Potential: ODP [kg R11 eq])	6,8E-12	1,704E-07	2,38E-08
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (Photochemical Ozone Creation Potential: PCOP [kg Ethene eq])	0,00015	4	0,525
Beklenen Enerji Talebi (Primary Energy Demand: PED [MJ])	4	100,224	14,000
Su Tüketimi (Water consumption [kg])	20	501,120	70,000

Executive Summary: Life Cycle Assessment of zircon sand production applied to ceramic tiles (21/12/2017) - Zircon Industry Association (ZIA) - Zirkon Sanayicileri Derneği  
\*\*\*Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 verilerine göre elektrik 2020 yılı zirkon ihtiyacı 25056 ton'dur.  
\*\*\*\*Bilecik Demir Çelik 2020 yılı zirkonya atığı 3,5 ton'dur.

### 4. Sonuç

Projenin fiziksel etkilerini incelediğimizde (*Yaşam Döngüsü Analizi- Life Cycle Assessment*) BDC'de çelik üretim prosesi boyunca ortaya çıkan 3,5 tonluk zirkonya atığın, ikincil refrakter hammaddesi olarak ticarileştirilerek geri kazanılması sonucunda ortalama 75 ton su ve 7,2 kWh enerji geri kazanılmış olacak ve 3,2 ton karbon salınımı ise gerçekleşmeyecektir.

Firmamızda yılda 15.000 adet zirkonya nozul atığı ortaya çıkmaktadır. Atık malzeme önerilen yöntemlerle işlendiğinde kütlesine %14 oranında zirkonya, %19 oranında metalik atık ve %67 oranında alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atık elde edilmektedir. Bu oranların miktar olarak karşılıkları ve bu miktarlara sağladığı finansal kazanç potansiyelleri Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Zirkonya nozul atıklarının finansal kazanç potansiyeli

Hibrit Yapı	Atık Olarak açığa çıkan miktar (ton/yıl)	****Atık Değeri	***Kazanç Potansiyeli	**Mevcut Durum
Zirkonya	3,5	\$500	\$1.750	
Alümina	16,7	\$1.300	\$21.710	\$195.000
Metal Sac (hurd)	4,7	\$410	\$1.927	
<b>Toplam</b>	<b>24,9</b>	<b>\$2.210</b>	<b>\$25.387</b>	<b>**%13</b>

\*Projenin geri dönüşüm %kârlılığı  
\*\*BDC'de yıllık zirkonya nozul tüketim maliyeti  
\*\*\*Projenin hayata geçmesiyle ortaya çıkan ekonomik kazanç  
\*\*\*\*3 farklı kalite - maliyet stabilizasyonuna göre hesaplanan satış fiyatı

### Teşekkür

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından koordine edilen ve ülke genelinde mikro, küçük, orta, büyük olmak üzere her ölçekteki işletmelere ve kamu kurumlarına yönelik olarak düzenlenen 2021 Verimlilik Proje Ödülleri Yarışmasında Orta Ölçekli firmalar arasında ikincilik ödülünü BDC almıştır. Bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederiz.

### Referanslar

- [1] M. Lundberg, Environmental Analysis of Zirconium Alloy Production, Uppsala Üniversitesi (Uppsala University, December 2011, İsveç.
- [2] V. Köroğlu, Refrakter Üretimine Yönelik Olarak Zirkonya Stabilizasyon Çalışmaları, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2013, İstanbul, Türkiye.
- [3] Ç. Durmuş, Zirkonya Esaslı Refrakter Kompozitlerin Üretim Parametrelerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015, İstanbul, Türkiye.
- [4] <<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/turkiyede-madencilik/2020-yili-maden-dis-ticaret.pdf>>
- [5] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu Resmi İnternet Sitesi) <[www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)> Tarih: 03.03.2021
- [6] Executive Summary: Life Cycle Assessment of Zircon Sand Production Applied to Ceramic Tiles, On behalf of the Zircon Industry Association (ZIA), 22/12/2017.

## Biyel Kollarında Kullanılan Çeliklerdeki Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of Alloy Elements in Steels Used in Connecting Rod on Microstructural and Mechanical Properties

◆  
**Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

### Abstract

Connecting rods are a critical part of internal combustion engine vehicles that transfer the linear movement of the piston as a rotational movement to the crankshaft as a result of the explosion that occurs as a result of the ignition of the fuel and air mixture. Since the engines operate at high speeds, at high temperatures and under high pressure, connecting rods must have high mechanical strength against tensile and compression forces. In order for the connecting rods to work for a long time without deformation, their fatigue strength is also required to be high. In the selection of connecting rod material, it is very important to determine the alloy groups that will contain all these superior properties. Compared to other metals, alloying elements are very effective in steel structure. Alloying elements are effective in improving the mechanical properties such as tensile strength, yield strength, fatigue strength, and properties such as machinability, weldability and hardenability, which are desired in practice by enabling the steel to reach a different internal structure. The effects of alloying elements are not additive to each other. For this reason, the expected property changes in the presence of a large number of alloying elements should be considered together. In this review, the effects of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of steels used as connecting rod material are discussed and presented in light of the literature.

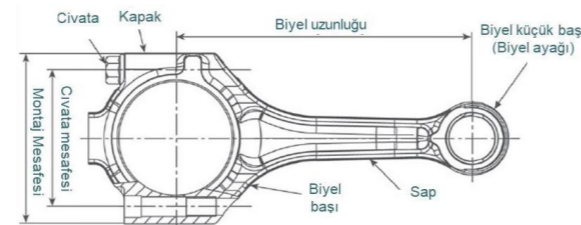
### Özet

Biyel kolları içten yanmalı motorlu araçlarda yakıt ve hava karışımının ateşlenmesi sonucu meydana gelen patlama sonucunda pistonda oluşan doğrusal hareketi krank miline dönme hareketi olarak aktaran kritik öneme sahip bir parçadır. Motorlar yüksek devirlerde, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınç altında çalıştığı için biyel kollarının çekme ve basma kuvvetlerine karşı yüksek mekanik dayanımına sahip olması gerekmektedir. Biyel kollarının deformasyona uğramadan uzun süre çalışabilmesi için yorulma dayanımlarının da yüksek olması istenmektedir. Biyel kolu malzeme seçiminde tüm bu üstün özellikleri bünyesinde barındıracak alaşım gruplarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Diğer metallere nazaran alaşım elemanları çelik

yapısında oldukça etkilidir. Alaşım elementleri çeliğin farklı bir içyapıya ulaşmasını sağlayarak pratikte istenilen çekme mukavemeti, akma sınırı, yorulma dayanımı gibi mekanik özellikler ile işlenebilirlik, kaynak edilebilirlik ve sertleşme kabiliyeti gibi özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olur. Alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, fazla sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde beklenen özellik değişimleri ancak genel çerçevede ele alınabilir. Bu derleme çalışmada, biyel kolu malzemesi olarak kullanılan çeliklerde alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri ilgili literatür ışığında ele alınmış ve sunulmuştur.

### 1. Giriş

Günümüz koşullarında otomobiller hayatımızın olmazsa olmazı konumuna gelmiştir. Otomobillerin bu denli yaygın olduğu bir ortamda otomotiv sektörünün en önemli yapıtaşı olan motorlar her geçen gün geliştirilmektedir. Biyel kolları da bu gelişimde motor içerisindeki ana güç aktarım parçası olarak önemli bir yer almaktadır. Biyel kolları motor yanma odasında yakıt ve hava karışımının yanması sonucu oluşan basıncı pistonun doğrusal hareketinden krank milinin dairesel hareketine aktaran parçadır [1]. Biyel kolunun küçük baş kısmı piston pimi vasıtasıyla pistona, büyük baş kısmı (biyel başı) ise krank miline bağlanmaktadır [2]. Şekil 1'de biyel kolunun kısımlarını gösteren görsel verilmiştir.



Şekil 1. Biyel kolu kısımları

Biyel kolu doğrusal yöndeki kuvveti açılı bir şekilde dönen krank miline aktarabilmesi için piston pimi ile biyel kolu arasında ve krank mili ile biyel kolu arasında sabit olmayan bağlantı oluşturulur [3]. Hareketli bağlantı noktaları ani yön değiştiren yüksek kuvvetleri aktardığı için iki malzeme arası temas toleransı çok düşüktür ve bu durum sürtünme

olayından dolayı malzemelere en az hasar verecek şekilde ayarlanmalıdır. Biyel kolları üretilirken bu durum göz önünde bulundurularak sürtünmeye karşı direnci yüksek malzemeler kullanılmak istenir. Biyel kollarına etkiyen bir diğer kuvvet ise yanma odasında gerçekleşen patlama sonucu biyel koluna aktarılan basma kuvvetidir [1-4]. Basma kuvvetine karşı deformasyona uğramadan çalışabilmesi için basma dayanımı biyel kollarında aranan en önemli özelliklerden biridir. Motorun çalışma prensibi incelendiğinde biyel kolunun patlama sonucunda basma kuvvetine maruz kalarak harekete başladığı görülür. Bu hareket krank milinin 180° dönmesiyle birlikte sonlanır ve zıt yönde harekete geçmesiyle başlangıç noktasına döner [4]. Burada bahsettiğimiz hareketin zıt yönde başlamadan önceki durma anında biyel kolu üzerindeki basma kuvveti sıfırlanır ve çok kısa bir zaman aralığında zıt yönde çekme kuvveti oluşur. Bu nedenden dolayı biyel kollarında çekme dayanımı da çok önemlidir. Krank millerinin bahsettiğimiz dönme hareketini yapmasıyla biyel kolları açılal kuvvetlere maruz kalarak çalışır. Farklı yönlerde, krank milinin her dönme açısıyla birlikte değişen kuvvetlerin olması biyel kolunda burkulma dayanımının yüksek olması zorunluluğunu ortaya çıkarır. Ele aldığımız tüm bu kuvvetler motorun rölanti halde çalışırken dakikada 900, araç hareket halindeyken ise dakikada 2000 ila 6000 devir arasında tekrarlanan hareketler neticesinde ortaya çıktığı düşünüldüğünde deformasyona uğramadan sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için ne denli yüksek dayanımlara sahip olması gerektiği görülebilmektedir. Motor içerisinde çok önemli bir kuvvet aktarım görevine sahip olan biyel kolunun zarar görmesi halinde yenilenme maliyeti çok yüksektir. Bunun başlıca nedenlerinden biri biyel kolunun zarar görmesi durumunda motor içerisindeki piston, sübap, yatakla elemanları ve piston gömleği gibi malzemelerin de zarar görmesi ve yenilenmesi gerektirir. Bu yüksek yenileme maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, fabrikada ilk montaj malzemesinin maliyetinin daha kaliteli ve istenilen özellikleri karşılayan malzemeler seçilerek yüksek olması, sonradan zarar gören malzemeleri yenilemeye harcanacak miktardan çok daha ekonomiktir [1-4].

Biyel kolları; dövme, dökme ve toz metalürjisi olmak üzere üç farklı üretim tekniği ile üretilebilir [5]. Dövme ile biyel kolu üretimi; gözenekliliği en aza indiren yöntem olduğundan mukavemetin iyileştirilmesi ve yorulma dayanımını olumlu yönde etkilediği için tercih sebebidir. Yapılan çalışmalarda dövme ile üretilen biyel kollarının yorulma dayanımının %25-30 oranında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [6]. Biyel kollarının motor içerisinde çalışma koşulları çok düşük toleranslara izin verdiğinden bu üç üretim yönteminden sonra talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak malzemeye son şekli verilir.

Biyel kollarının işlevselliğinde ve mekanik özelliklerinde tasarım malzeme seçimi kadar önemli rol oynar. Bu noktada biyel kolu tasarımında flambaj etkisi (en-boy oranı), kesit tasarımı ve mukavemeti kaybetmeyecek şekilde hacmin

küçültülerek ağırlığın azaltılmasıdır önemli rol oynar. Flambaj etkisinin fazla olması biyel kolunun merkez destek noktası ve kuvvet noktaları arasındaki mesafeyi arttıracığından burkulma dayanımını düşürecektir. Kesit alanının doğru tasarlanması ise hem farklı yönlerden etkiyen kuvvetlere karşı dayanımın sağlanması hem de hafifliğin sağlanması için önemlidir. Biyel kollarının hafif olmasını istememizin nedeni, artan ağırlıkla birlikte biyel kolunun hareketlerinde momenti en aza indirerek biyel koluna etkiyen kuvveti azaltmaktır.

Biyel kollarının mekanik özelliklerini belirleyen en büyük faktör kullanılan malzemedir. Günümüzde biyel kollarının büyük bir kısmı çelik alaşımlarından üretilmektedir [7,8]. Çelik alaşımlarının kullanılmasının birden çok nedeni vardır. Bu nedenlerin başında çelik alaşımlarının biyel kolu tasarımına uygun şekilde işlenebilir olmasıdır. Biyel kolunda istenilen mekanik özellikler incelendiğinde, hafiflik ve maliyet kriterleri ele alınarak en verimli malzemenin çelik alaşımları olduğu görülmektedir. Biyel kolunda istenilen özelliklerin birlikte sağlanabilmesi için kullanılan çelik alaşımlarındaki alaşım elementlerinin oranları değiştirilmektedir. Alaşım elementleri çeliğin içyapısının farklılaşmasına neden olur, bu farklılaşma bizim çeliklere alaşım elementleri katarak istediğimiz özellikleri elde etmemizi sağlar. Alaşım elementi oranlarının değişmesi ise oluşan içyapı değişimlerini etkilemektedir ve bu sayede alaşım elementi oranıyla birlikte malzeme özellikleri değişmektedir [9].

Bu çalışmada; biyel kolu üretiminde kullanılan başlıca çelik alaşımları ve bu çelik alaşımlarında bulunan alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri ilgili literatür ışığında ele alınmıştır.

### 2. Biyel Kolu Çelikleri

Biyel kollarının imalatında genellikle dövme yöntemi kullanılır. Döküm ve toz metalürjisi yöntemlerinin dövme yöntemi kadar çok kullanılmamasının nedeni yapıda gözenek oluşmasının varlığıdır. Gözenekli yapılar biyel kollarının yorulma, basma çekme ve burkulma dayanımını etkileyeceği için yapıda istenmez [8].

Gelişen teknolojiyle birlikte biyel kollarından beklenen özellikler dikkate alınarak daha mukavemetli, daha az maliyetli ve daha uzun ömürlü biyel kolları geliştirmek için biyel kolu malzemesi olan alaşım çeliklerdeki alaşım elementleri incelenmekte ve bu konu üzerinde çalışmalar yürütülmektedir [9-11]. Biyel kolları yüksek sıcaklıklarda uzun süre tekrarlı yüklere maruz kaldığından dolayı belirli dayanım değerlerine sahip olmalıdır [4]. Bu dayanımı elde edebilmek için biyel kolu malzemesi dövme işleminden geçirilir. Dövme işleminin uygulanabilmesi için biyel kolu malzemesinin dövme elverişli olması gerekir. Bu kriteri sağlama ve biyel kolunun sahip olması gereken dayanımı karşılayabilmesi için genellikle çelik alaşımları

kullanılmaktadır. Kullanılan çelik alaşımları biyelin çalışacağı koşullara, aracın motor hacmine, aracın motor gücüne ve karşılaması gereken yük miktarına göre değişmektedir.

Günümüzde biyel kolu üretiminde en sık kullanılan çelik alaşımı C70S6 alaşımıdır. Şekil 2'de dövme ile üretilmiş biyel kolunun resmi verilmiştir. Geleneksel çeliklerle kıyaslandığında C70S6 çeliği üretim aşamasında baş kısmının kırılarak ayrılmasına müsaade eden yapısı sayesinde üretim maliyetini %25 oranında düşürmektedir. Ayrıca kırarak ikiye ayırma yöntemiyle imal edilen C70S6 çelikleri geleneksel çeliklere göre yüzey yorulma dayanımında %30 ve ağırlık konusunda %13 daha avantajlıdır [12]. C70S6 çeliğinin baş kısmının kırılarak ayrılmasıyla hem maliyette hem de mekanik özelliklerde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Bu gelişmelerle birlikte Fransa'da SPLITASCO70 ve SPLITASCO50 ardından Japonya'da S53CVFS ve S50CVS1 çelikleri geliştirilmiştir [13].



Şekil 2. Dövme yöntemiyle C70S6 çeliğinden üretilmiş biyel kolu [14].

Çizelge 1'de alaşım oranları verilen VANARD 925® çeliği son dönemlerde geliştirilen diğer bir çeliktir. VANARD 925® çeliği çoğunlukla kullanılan C70S6 çeliğinin daha düşük karbonlu hali olan C45S6 çeliğiyle karşılaştırıldığında daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yeni teknolojiyle geliştirilen 38MnVS çeliğiyle mukavemet değerleri benzerlik gösterse de imalat yönteminde kırılarak baş kısmının ayrılması işlemi için VANARD 925® çeliğinin işlenebilirliği daha iyidir [13].

Çizelge 1. VANARD 925® çeliğindeki alaşım oranları (ağ. %) [15]

C	Si	Mn	S	V
0,3-0,5	0,15-0,35	1-1,5	0,1 (max.)	0,05-0,2

Yapılan birçok çalışmada [16-19, 24] vanadyum orta karbonlu mikro alaşımlı çeliğin biyel kolunda aranan özellikleri sağladığı görülmüştür. Yapılan testlerde yüksek karbonlu C70S6 dövme çeliğinin yorulma dayanımının, sıcak dövme toz metallere göre daha yüksek olduğu görülmüştür [17]. Yapılan farklı bir çalışmada da C70S6

çelik alaşımının yorulma dayanımının yeni geliştirilen aynı mukavemet seviyesindeki orta karbonlu mikro alaşımlı 38MnVS çelik alaşımından daha düşük olduğu görülmüştür [18,19]. Çizelge 2'de 38MnVS çeliğinin alaşım oranları verilmiştir.

Çizelge 2. 38MnVS çeliğinin alaşım oranları (ağ. % maks.) [17].

C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
0,37	0,18	1,32	0,008	0,061	0,14	0,12	0,018	0,011

Biyel kolu malzemesinde kullanılmak üzere geliştirilen son alaşımlardan biri de HC1200 perlitik çelik alaşımıdır. Çizelge 3'te Cargem® HC1200 ve C70S6 çeliklerinin kimyasal içeriği verilmiştir [7,8]. Yapılan çalışmalarda iki alaşımın ilgili kıyaslamalarda bulunulmuştur, kıyaslamalarda mikroyapısal karakterizasyon, çekme testi ve Vickers sertlik testi uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu incelemeler neticesinde; Cargem® HC1200 çeliğinin günümüz otomotiv sektöründe istenilen şartları sağladığı görülmüştür. Süneklik değerlerinin C70S6 çeliği ile benzerlik gösteriyor olması çalışmalar sonucunda biyel baş kısmının kırılarak imal edilebilmesi durumunu destekler niteliktedir [10]. Bu sonuçları dikkate alınarak Cargem® HC1200 çeliğinin önümüzdeki yıllarda biyel kolu malzemesi olarak kullanılabilirliği anlamına gelmektedir [10,11].

Çizelge 3. Cargem® 1200 ve C70S6 çeliklerinin alaşım oranları (ağ. % maks.) [10].

	C	Si	Mn	Cr	V	N
Cargem® HC1200	0,80	0,22	0,98	0,60	0,11	60 (ppm)
C70S6	0,69	0,23	0,53	0,06	0,03	100 (ppm)

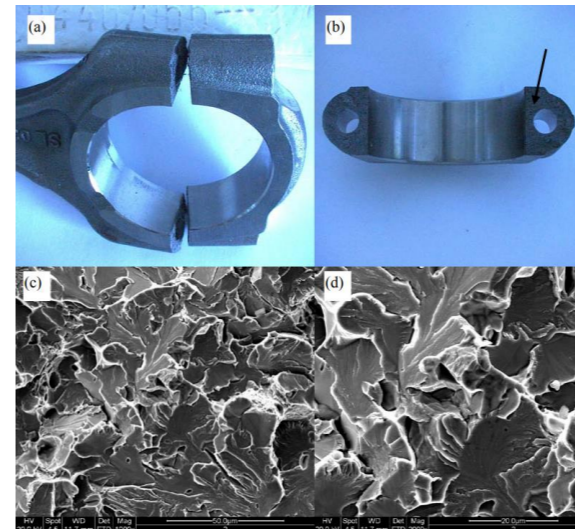
### 3. Alaşım Elementleri ve Etkileri

Otomobil motorlarında kullanılan biyel kollarının uzun yıllar deforme olmadan çalışabilmesi için; yüksek mukavemet ve yüksek yorulma dayanımına sahip olması gereklidir. Bunun yanında son zamanlarda tüm dünyada otomobil üreticilerin en önemli çalışma alanlarından biri olan emisyon değerlerinin sağlanması ve yakıt tüketiminin olabildiğince azaltılabilmesi için hafiflik kriteri de göz önünde bulundurulmalıdır [4]. Malzeme özelliklerinin yanında malzemenin seri imalata uygunlu da düşük maliyetler için önemlidir. Bu kapsamda üretilmek istenen biyel kollarında baş kısmını kırarak ayırma metodunun kullanılması yapılan çalışmalarda üretim maliyetini %25 oranında düşürdüğü görülmüştür [12]. Biyel baş kısmının kırarak ayrılması ayrıca kusursuz gevrek kırılma

sağlandığında, malzeme kaybı olmadan iki parça arasında tam oturma elde ederek biyel kolunun motor içerisine montaj edildiğinde bütünlüğünü korumasını sağlamaktadır [21]. Şekil 3'te kırarak ayırma işlemi için çentik açılmış C70S6 çeliğinden üretilmiş biyel kolunun görüntüsü verilmiştir. Kırma işleminin uygulanabilmesi için malzemenin yeterli gevrekliğe sahip olması istenmektedir, istenen bu gevreklik biyel kolunda kırma işlemine izin vermeli fakat kullanım esnasında motor gücüne karşı dayanımı azaltmamalıdır. Şekil 4'te belirgin gevrek kırılma karakteri ve uygun kırılma özellikleri gösteren özel geliştirilmiş çelik alaşımının resmi ve SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. Kırarak ayırma işlemi için çentik açılmış C70S6 çeliğinden üretilmiş biyel kolu [5].



Şekil 4. Belirgin gevrek kırılma karakteri gösteren özel geliştirilmiş çelik alaşımının resmi (a-b) ve SEM görüntüleri (c-d) [22].

Alaşım elementleri malzemenin mikroyapısını değiştirerek istenilen özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Çelik alaşımlarında bulunan karbon elementi çeliğin güçlendirilmesini sağlayan en önemli elementtir. Düşük karbon oranına sahip çelikler istenen mukavemeti

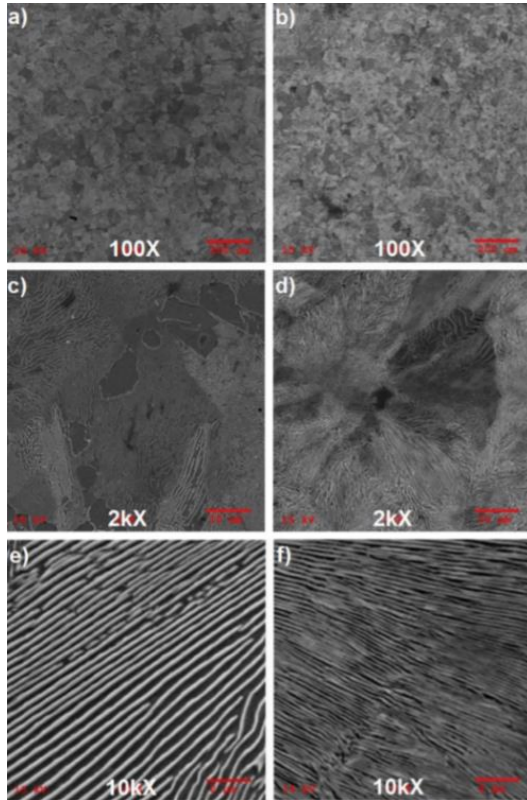
sağlayamaz. Bunun yanında yüksek karbon oranı çeliğin kesme özelliğinin ve tokluğunu bozabilecek aşırı sertliğe neden olur ve çeliğin yorulma dayanımını olumsuz etkiler. Alaşımda karbon oranının artması perlit yapısının oranını artırır ve bu yolla mukavemetin artmasına olanak sağlar. Fakat bu durum tokluğun düşmesine neden olur [23].

Kubota ve Teramoto [24] yaptıkları çalışmada; V, Zr, Ca ve Al elementleri biyel kolu çeliğine ilave edilmiş ve alaşım elementlerinin oranları değiştirilerek testler yapılmıştır. Yapılan testlerde C70S6 çeliği baz alınmış ve yapıdaki C oranı %0,70'den %0,35'e düşürülmüştür. İlave olarak eklenen; V, Zr, Ca ve Al sayesinde Pb ilave etmeden tokluk ve mukavemet artışı sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen yeni alaşım üretim aşamasında baş kısmının kırılmayla ayrılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada çok düşük Pb ve düşük C oranlarında dahil istenilen özelliklerin elde edilebildiği görülmüştür. Dövme yöntemiyle üretilen biyel kollarında malzemeye son şeklinin vermeden önce en yakın şekil elde edilmek istenir. Bu nedenden dolayı malzemenin sünek özellik göstermesi önemlidir. Üretim aşamasında kolaylık sağlanmasının yanında malzemenin kullanımı sürecinde de süneklik elde etmek için yapıya eklenen alaşım elementleri mukavemet artışı ve yorulma dayanımı artışı için önemlidir. Süneklik için malzemenin kimyasal yapısı çok önemlidir. Kimyasal yapının buna elverişli olabilmesi için yapıdaki Mn ve N oranlarının azalması ve Si ve V oranının artırılması sünekliğin artmasını sağlar. Bahsedilen bu özelliklerin uygulamaya geçirilmesi için yapılan çalışmada C70S6 çeliğinde sünekliğin artması için Mn oranı azaltılırken V oranı artırılmıştır, bununla birlikte işlenebilirliğin artırılması için S oranı artırılmıştır [13]. Cahoon ve diğ. [25] yaptığı çalışmada ise işlenebilirlik artışının yapıdaki %S oranının artması ile mümkün olduğu belirlenmiştir.

Biyel kollarında kullanılan mikroalaşımlarda çökeltme sertleştirme yoluyla mukavemet artışı sağlanır, bu artış malzemelere östenit içerisindeki yüksek çözünürlüğü nedeniyle V eklenerek elde edilir. Vanadyum yapıda perlitin ferrit lamellerinde çökeltmesinin yanında proökteoid ferrit içinde ince V(C,N) parçacıkları olarak çöker, bu durum malzemenin mukavemetinin %C içeriğinden bağımsız bir şekilde artış göstermesini sağlar [26,27]. V(C,N) parçacıklarının östenit fazında yüksek çözünürlüğünün olması üretim maliyetlerini düşürür. Bunun başlıca nedeni çözünürlüğün fazla olması sayesinde malzemenin yeniden ısıtma sıcaklığının düşürülerek enerjiden kazanç sağlanmasıdır [23]. Ayhan ve diğ. [11] biyel kollarında kullanılmak üzere yeni çelik alaşımların geliştirdiği çalışmada; yapıdaki %Mn ve %Cr oranları değiştirilerek mikroyapı değişimleri ve lameller arası mesafelerden yola çıkılarak mukavemet değişimleri incelenmiştir. Perlitik çeliklerde istenilen mekanik özelliklerin sağlanması için lameller arası mesafe ve perlit koloni boyutlarının kontrol edilmesi ifade edilmiştir. Mn elementinin yapıdaki etkileri incelendiğinde çelik alaşımlarında lameller arası mesafenin oluşmasında büyük rol aldığı bilinmektedir [28,29]. Li ve

Milbourn [23] yaptıkları çalışmada; Mn oranının bu etkisinin nedeni sementit karbürlerinin çekirdeklenmesi için daha yüksek bir itici güç oluşması ve karbon için daha kısa difüzyon mesafeleri oluşması olarak açıklanmıştır.

Ayhan ve diğ. [11] yaptığı çalışmada; Mn ve Cr element oranlarının etkisinin araştırmışlar ve üç farklı alaşım oranına sahip çelikler kullanılarak SEM incelemeleri yapmışlardır. Ç-1, Ç-2 ve Ç-3 çeliklerinin Çizelge 4'te kimyasal bileşimleri ve Şekil 5'te SEM görüntüleri verilmiştir. Yapılan incelemelerde; Cr oranı düşük olan Ç-3 çeliğinde lameller arası mesafe nedeniyle perlit mikroyapısının daha ince olduğu belirtilmiştir. Ç-1 çeliğinde ise lamel boyut dağılımının kaba olduğu gözlemlenmiştir, bunun nedeninin yapıdaki Mn oranının düşük olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada Cr oranı sabitken Mn oranının artmasıyla alaşımın mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Mn oranı ile birlikte Cr oranı da artırılırsa sünekliğin arttığı gözlemlenmiştir. Lameller arası mesafenin azaltılması mukavemet artışı sağladığı görülmüş ve Mn oranının lameller arası mesafeyi azalttığı düşünülmektedir [11]. Yapılan farklı çalışmalarda yapıdaki Cr elementinin de lameller arası mesafeyi etkilediği gözlemlenmiştir. [30,31].



Şekil 4. SEM incelemelerine ait görüntüler. (a, b) Ç-1; (c, d) Ç-2; (e, f) Ç-3 [11].

Çizelge 4. Ç-1, Ç-2 ve Ç-3 test çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ( ağ. % maks.) [8].

	C	Si	Mn	Cr	V	N
Ç-1	0,80	0,25	1,00	0,60	0,10	<60 ppm
Ç-2	0,80	0,25	1,25	0,60	0,10	<60 ppm
Ç-3	0,80	0,25	1,50	0,30	0,10	<60 ppm

Alaşım elementlerinin lameller arası mesafeye etkisi Eşitlik (1) ile açıklanmaktadır [32]. Bu eşitliğe göre lameller arası mesafenin azalmasını ötektoid dönüşüm sıcaklığının artmasıyla birlikte aşırı soğumanın da artması neden olmaktadır.

$$\lambda = 2\sigma V_m \Delta H T_e T_c - P_s = 2\sigma V_m \Delta H \Delta T = \alpha \Delta T \quad (1)$$

$\lambda$  : Lameller arası mesafe,

$\sigma$  : Ferrit sementit arayüz ilişkisi,

$V_m$ : Perlit polar hacmi,

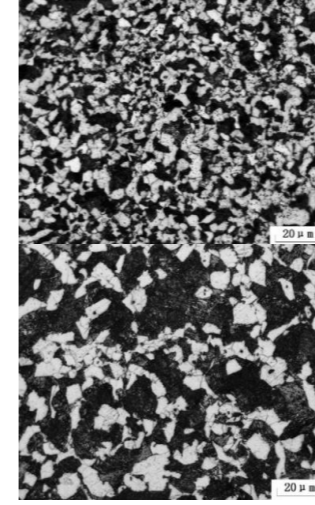
$\Delta H$ : Perlit dönüşümündeki entalpi değişimi.

Eşitlikten yola çıkarak incelendiğinde alaşım yapısındaki Cr oranının artması  $T_e$ 'yi arttırmakta ve lameller arası mesafeyi daraltmaktadır. Buna zıt olarak yapıdaki Mn oranının artması  $T_e$ 'nin azalmasını sağlar ve lameller arası mesafeyi azaltır [10]. Yapılan farklı çalışmalarda ise Mn oranının artmasıyla lameller arası mesafenin azaldığı belirtilmiştir [23,33].

Biyel kolları için kullanılan çelik alaşımlarında yapıya Vanadyum ilavesinin nasıl bir etki yarattığı farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir [20,23,34-41]. Yorulma dayanımı göz önüne alınarak yapılan bir çalışmada; çelik alaşımında Nb ve Ti yerine Vanadyum kullanılmış ve perlitik çelikte çökeltme sayesinde daha iyi yorulma dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca 38MnS ve 38MnVS alaşımları ile yapılan çalışmalarda; Vanadyumun ferrit-perlit çeliğinin yorulma özelliğini çökeltme sertleşmesi ve tane inceltme mekanizmasıyla iyileştirdiği gözlemlenmiştir [34]. Vanadyum elementleriyle birlikte yapıya eklenen Si ve P elementlerinin de süneklik artışında etkili olduğu görülmüştür [35-37]. Ferrit-perlit çelikleri kullanılarak yapılan araştırmalarda çalışmalar aynı doğrultuda sonuç göstererek V oranının artmasıyla çeliğin yorulma dayanımında artış gözlemlenmiştir [40,41]. %0,15'e kadar V oranının yapıda olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. 38MnVS alaşımında V oranının %0,45'e çıkartılarak etkisi tekrar incelenmiştir. Test ve 38MnVS alaşımlarının Çizelge 5'te kimyasal bileşimi; Şekil 6'da optik mikroskop görüntüleri verilmiştir [23].

Çizelge 5. 38MnVS ve test alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağ. % maks.) [20].

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
38MnVS	0,37	0,18	1,32	0,008	0,061	0,14	0,12	0,018	0,011
Test Alaşımı	0,38	0,74	1,03	0,033	0,088	0,18	0,45	0,024	0,02



Şekil 6. Test alaşımı (üst) ve 38MnVS alaşımının (alt) optik mikroskop görüntüleri [20].

Yapılan incelemelerde; Vanadyum oranının artmasıyla yapının yorulma dayanımının artmasının nedeni yapıdaki ferrit oranının artması ve mikroyapının daha ince ve düzgün hale gelmesi olarak açıklanabilir. Bunun nedeni genel olarak V'nin ince vanadyum karbonitür V(C,N) parçacıklarının oluşumu üzerindeki etkisi ve östenit içinde çözünerek tane sınırı göçünün bastırılmasıdır [38]. Sonuç olarak; artan V oranı ile ferrit hacim oranı artar, fakat sertlik ve mukavemetin asıl artış nedeni ince V(C,N) partiküllerinin çökeltmeyi güçlendirme etkisidir [39].

Li ve Milbourn [23] yaptıkları çalışmada; orta karbonlu havada soğutulmuş ferrit-perlit çeliğinin biyel kolu için öncü malzeme olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca Vanadyumun bu çeliklerde çok önemli ve yaygın olarak kullanılan mikroalaşım elementi olduğu, karbon veya düşük alaşımlı temperlenmiş çeliklere alternatif olarak daha düşük maliyet ve yüksek yorulma dayanımı sağladığı belirtilmiştir.

#### 4. Genel Değerlendirme

Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen genel değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

- Biyel kolu çeliklerinde olması gereken başlıca özellikler basma dayanımı, çekme dayanımı, burkulma dayanımı ve yüksek yorulma dayanımıdır.

- Biyel kolu malzemesinde kullanılan çeliğin alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi oldukça önemlidir. Kullanılabilirliği doğru çelik alaşım grubunu seçilmesiyle gerçekleşmektedir.
- Biyel kollarında en fazla kullanılan çelik grubu; uzun yıllar deformasyona uğramadan çalışabilme, ani yükler altında basma ve çekme dayanımı, sürekli değişen kuvvet yönlerine rağmen yüksek burkulma dayanımı ve üretim aşamasında kırma yöntemiyle baş kısmının ayrılabilirliği özelliklerinden dolayı C70S6 çelikleridir.

#### Referanslar

- [1] S. S. Godara, V. Brenia, A. K. Soni, R. S. Shekhawat, ve K. K. Saxena, Materials Today: Proceedings. (2021).
- [2] A. T. Turgaç, İçten Yanmalı Motorlarda Biyel Kolu Cıvatalarının Hesabına ve Tasarımına Yönelik Yazılım Geliştirme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2020, İstanbul, Türkiye.
- [3] Milli Eğitim Bakanlığı, Motorlu Araçlar Teknolojisi, Piston Biyel Krank Mekanizması, 2011, Ankara.
- [4] R.S. Khurmi, J.K. Gupta, A Textbook of Machine Design, S. Chand Publishing, 2005, Hindistan.
- [5] T. Özdemir, Motor Biyel Kolunun Baş Kısmının Kırılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nümerik Analizi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2013, Balıkesir, Türkiye.
- [6] T. Kaya, Biyel Optimizasyonu, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2012, İstanbul, Türkiye.
- [7] Z. Aksoy, Z. Özdemir ve T. Özdemir, Kırılarak İki Parçaya Ayrılabilen Biyel Kollarının Ayrılma Parametreleri Üzerine Bir İnceleme, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 16. Cilt, 2. Sayı, s. 113-122.
- [8] H. Acar, Biyel Kolu Analizi, Optimizasyonu ve Yorulma Davranışının İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 2016, Bursa, Türkiye.
- [9] S. Akdı ve H. Demirpolat, Farklı Malzemelerden Üretilen Otomotiv Parçalarının Teknik ve Ekonomik Karşılaştırılması, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology, 21-23 Haziran 2019, Kapatokya, Türkiye.
- [10] İ.İ. Ayhan, N.B. Dürger, B. Parmaksızoğlu ve E. Erişir, Biyel Kolları İçin Yüksek Mukavemetli Yeni Mikroalaşım Çelik, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 25-27 Ekim 2018, İstanbul, Türkiye.
- [11] İ.İ. Ayhan, C. Güney, N.B. Dürger, B. Parmaksızoğlu, E. Alan, E. Erişir, A. Türkan ve Ş. Demirci, Yeni Geliştirilen Yüksek Mukavemetli Perlitik Çelik Kalitesinde Kimyasal Kompozisyonun Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisi, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 25-27 Ekim 2018, İstanbul, Türkiye.
- [12] Z. Aksoy, Z. Özdemir ve T. Özdemir, A Metallographic Examination of Fracture Splitting C70S6 Steel Used in

Connecting Rods, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 24. Cilt, 2. Sayı, s. 45-58.

[13] R. Yu, The Fracture Splitting Process of Connecting Rods, Process Matter Autoob, 9. Sayı, 9-11.

[14] A. Afzal, Fatigue Behavior and Life Predictions of Forged Steel and Powder Metal Connecting Rods, Y. Lisans Tezi, University of Toledo, 2004, Toledo, ABD.

[15] D. Llewellyn ve R. Hudd, Steels; Metallurgy and Applications, Elsevier, 2002.

[16] J.D. Vasant, E.E. Kharde, U.N. Gujar, Fracture Split Connecting Rod for Automotive Engines, International Journal of Engineering Research and Development, 4. Cilt, 9. Sayı, 37-41.

[17] B. Repped, Optimized Connection Rods to Enable Higher Engine Performance and Cost Reduction, SAE Technical Papers, No. 980882, 1998.

[18] Z.X. Liu, S.L. Chen, Y.J. Hui ve R.P. Liu, High-Cycle Fatigue Properties of C70S6 Steel for Fracture Splitting Connecting Rod, Special Steel 2010, 31. Sayı, 68-70.

[19] X.Q. Zha, W.J. Hui, Q.L. Yong, H. Dong, Y.Q. Weng ve J.M. Long, Effect of Microstructure on The Fatigue Properties of Microalloyed Medium-Carbon Steel, Heat Treat Met 2007, 32. Sayı, 92-95.

[20] W. Hui, S. Chen, Y. Zhang, C. Shao ve H. Dong, Effect of Vanadium on The High-Cycle Fatigue Fracture Properties of Medium-Carbon Microalloyed Steel for Fracture Splitting Connecting Rod, Materials and Design 2015, 66. Sayı, 227-234.

[21] Z. Özdemir, O.S. Türkbaş, T. Özdemir, C70S6 Çeliğinden İmal Edilen Biyel Kolunun Çentikli Kıırma Yöntemi ile İmalatı Esnasında Isıl İşlem Parametrelerinin Kırılmaya Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 10. Cilt, 2. Sayı, 49-58.

[22] X. Zhang, Y. Xiong ve G. Zhou, Development on V-N Microalloyed Forging Steel Used in Fracture Splitting Connecting Rods, International Conference on Innovative Material Science and Technology, 19-21 Ağustos 2016, Shenzhen, Çin.

[23] Y. Li ve D.J. Milbourn, Vanadium Microalloyed Forging Steel, Proceeding of the 2nd International Symposium on Automobile Steel, 2013, Anshan, Çin.

[24] M. Kubota ve S. Teramoto, Hot-Forging Micro-Alloyed Steel and Hot-Rolled Steel Excellent In Fracture-Splitability And Machinability, And Component Made Of Hot-Forged Microalloyed Steel, United States Patent Application, US2010/0143180, 2010.

[25] C.R. Cahoon, W.H. Broughton ve A.R. Kutzak, The Determination of Hardness Measurement From Yield Strength, Metallurgical Transactions, 2. Cilt, 2004, 1971-1983.

[26] A.M. Sage, The Effect of Some Variations in Composition on the Properties of Vanadium Forging Steels, Conference Proceedings of Fundamentals of Microalloying Forging Steels, 8-10 Temmuz 1986, Colorado, ABD.

[27] P.E. Reynold, Alternatives to Conventional Heat Treatment for Engineering Steel Components, Heat Treatment of Metals, No:3, 1990, 69-72.

[28] M. Honjo, T. Kimura ve K. Hasa, Effect of Cr on Lamellar Spacing and High-Temperature Stability in Eutectoid Steels, ISIJ International, 56. Cilt, No:1, 161-167.

[29] J. Toribio, B. Gonzalez, J.C. Matos ve F.J. Ayaso, Influence of Microstructure on Strength and Ductility in Fully Pearlitic Steels, MDPI Metals (2016), 318.

[30] M. Wang, F. Zhang ve Z. Yang, Materials Science and Technology, 33. Cilt, Elsevier, 2016, 1673-1680.

[31] C. Capdevilla, F. G. Caballero ve C. Garcia de Andres, Neural Network Model for Isothermal Pearlite Transformation. Part I: Interlamellar Spacing, ISIJ International, 45. Sayı, 2. Cilt, 229-237.

[32] M. Honjo, T. Kimura ve K. Hase, ISIJ International, 56. Cilt, 161-167.

[33] L. Kong, Y. Liu, Y. Song, J. Liu, S. Li, Y. Liang, Y. Zheng ve W. Cui, The influence of manganese on kinetics of austenitization of the Fe-Mn-C ternary alloys, Mechanika, 23. Cilt, 291-297.

[34] X.Q. Zha, W.J. Hui, Q.L. Yong, H. Dong, Y.Q. Weng ve J.M. Long, Effect of Vanadium on The Fatigue Properties of Microalloyed Medium-Carbon Steels, ACTa Metal Sinica, 43. Cilt, 719-723.

[35] Z. Gu, S. Yang, S. Ku, Y. Zhao ve X. Dai, Fracture Splitting Technology of Automobile Engine Connecting Rod, Int Adv Manuf Technol, 25. Cilt, 883-887.

[36] W.J. Hui, Z.X. Liu, Y.J. Zhang, S.L. Chen ve H. Dong, Development of New Medium-Carbon Microalloyed Steel for Fracture Splitting Connecting Rod, Iron Steel, 47. Cilt, 49-73.

[37] A. Matsugasako, Low Alloy Steel for Fracture Splitting Connecting Rod, Kobelco Technology Review, 61. Sayı, 57-61.

[38] F. Penalba, C. Garcia De Andres, M. Carsi ve F. Zapirain, Austenitic Grain Size Evolution and Continuous Cooling Transformation Diagrams in Vanadium and Titanium Microalloyed Steels, Journal of Materials Science, 31. Sayı, 1996, 3847-3852.

[39] A. Kaynar, S. Gündüz ve M. Türkmen, Investigation on The Behaviour of Medium Carbon and Vanadium Microalloyed Steels by Hot Forging Test, Materials Design, 51. Sayı, 819-825.

[40] I. Nomura, Influences of Microstructures of Fatigue Strength of Medium Carbon Microalloyed Steels, Tetsu-to-Hagane, 83. Sayı, 227,232.

[41] S. Gündüz, H. Karabulut, M.A. Erden ve M. Türkmen, icrostructural Effects on Fatigue Behaviour of a Forged Medium Carbon Microalloyed Steel, Mater Test, 55. Sayı, 865-870.

## Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Fonksiyonu

Function of Protective Gas in Joining Austenitic Stainless Steels By Gas Welding Method



Selin AK, İlayda TÜRKMAN, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

### Abstract

The use of austenitic stainless steels in the industry is increasing day by day due to their excellent corrosion resistance, high ductility, good machinability, and weldability properties. Thus, the welded joining of these steels has become more important. Stainless steels can be suitably welded with gas metal arc welding methods such as Metal Inert Gas (MIG) and Tungsten Inert Gas (TIG). Hydrogen (H<sub>2</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and nitrogen (N<sub>2</sub>) gases mixed into argon (Ar) gas, which is used as a shielding gas, have significant effects on the microstructure of the weld metal and therefore on its mechanical properties. The composition of the gases affects the electrical and physical properties in the arc region and, accordingly, the welding properties. The shielding gas type and mixing ratios are very important in optimizing the welding process. In this review, the effect of shielding gases used in joining austenitic stainless steels by gas arc welding methods on the microstructure and mechanical properties of the welded stainless steel was discussed. It was compared and evaluated in light of the literature.

### Özet

Mükemmel korozyon dayanımı, yüksek süneklik, iyi işlenebilirlik ve kaynak edilebilirlik özelliklerinden dolayı östenitik paslanmaz çeliklerin endüstride kullanımının hızla artması ile bu tür çeliklerin kaynaklı birleştirilmeleri daha önemli hale gelmiştir. Paslanmaz çelikler, Metal İner Gaz (MIG) ve Tungsten İner Gaz (TIG) gibi gazaltı kaynak yöntemleri ile uygun şekilde kaynak edilebilmektedir. Koruyucu gaz olarak kullanılan argon (Ar) gazı içerisine karıştırılan hidrojen (H<sub>2</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve azot (N<sub>2</sub>) gazları, kaynak metalinin mikroyapısına dolayısıyla mekanik özelliklerine önemli etkilerde bulunmaktadır. Gazların bileşimi ark bölgesi içerisindeki elektriksel ve fiziksel özellikleri, buna bağlı olarak da kaynak özelliklerini etkiler. Koruyucu gaz türü ve karışım oranları, kaynak işlemi optimize etmek açısından oldukça önemlidir. Bu derleme çalışmasında, östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı

kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların, kaynak edilen paslanmaz çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi genel bir akış içinde ele alınmıştır. İlgili literatür bilgileri ışığında karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

### 1. Giriş

Ülkemizde ve dünyada endüstrinin hızla gelişmesi ile birlikte paslanmaz çeliklere duyulan ihtiyaç da zaman geçtikçe artmaktadır. Kara ve deniz taşıtları üretimi, mutfak eşyaları, depolama tankları ve basınçlı kaplar gibi endüstrinin çeşitli yerlerinde tercih edilen paslanmaz çelikler birçok farklı sektörde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler içerisinde çok yüksek oranda (%12) krom ihtiva etmeleri nedeniyle diğer çelik türlerine göre farklılık gösterir [1,2]. İçerdiği krom miktarı arttıkça yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri de artmaktadır. Paslanmaz çelik üretimi içerisinde en çok üretilen ve kullanılan paslanmaz çelik türü östenitik paslanmaz çeliklerdir. 2022 Ocak ayında yayımlanan paslanmaz çelik pazar raporuna göre östenitik paslanmaz çeliklerin dünyada paslanmaz çelikler içerisindeki pazar payı %70'tir [3]. Östenitik paslanmaz çelikler bileşimlerinde %16-25 Cr ve %8-25 Ni içerir [1]. Hem kolay bulunabilmesi ve yüksek kalitede olması hem de uygun maliyetli olması nedeniyle birçok alanda tercih edilmektedir. Kimya ve petrokimya gibi endüstriyel alanlarda östenitik paslanmaz çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin; petrol boru hatlarında, şehir içi gaz, su ve kanalizasyon şebekelerinde ve bunlara ek olarak oksitlenme olasılığı fazla olan birçok alanda östenitik paslanmaz çeliklerden yararlanılır. Kullanım alanlarına bakıldığında kaynak bağlantılarının gerektiği noktalar bulunmaktadır. Kullanım alanlarının hassasiyeti nedeniyle kaynak bağlantılarının özenle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Östenitik paslanmaz çelik malzemelere uygulanan kaynak yöntemlerinde, yapının kaynak bölgesinin, malzemenin erime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılması gereklidir. Günümüzde paslanmaz çelik türlerinde kaynak işlemi olarak çoğunlukla gazaltı ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [1]. Gazaltı Ark Kaynak



yöntemleri; Tungsten Inert Gas (TIG), Metal Inert Gas (MIG), Metal Active Gas (MAG) olarak sınıflandırılır. Gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu gaz olarak; Argon (Ar) gazı içerisinde Hidrojen (H<sub>2</sub>), Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve Azot (N<sub>2</sub>) gazları eklenmektedir. Kullanılan gazların kaynak bölgesiyle teması sonucunda östenitik paslanmaz çeliğin mekanik mukavemetine ve mikroyapısına etki ettiği bilinmektedir.

Bu derleme çalışmasında; östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gazların kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin ele alındığı çalışmalar incelenmiş ve belirli bir akışta sunulmuştur.

## 2. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, korozif ortamlarda paslanmaya karşı direnç gösteren demir alaşımlarıdır. Üstün mekanik özellikleri ve korozyon dirençlerinin yüksek olması sebebiyle paslanmaz çelikler endüstride çok fazla tercih edilirler [4]. Paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin ısı genleşme katsayıları birbirine yakındır, bu yüzden inşaat sektöründe çelik yapılarda ısı genleşmeden kaynaklı çıkan sorunların önüne geçmek için düşük alaşımlı çeliklerle birlikte paslanmaz çeliğin kullanımı yaygınlaşmıştır. Hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda kullanılabilirliği için mutfak aletleri, demiryolu taşıtları, dişli çarklar, depolama tankları, ısı işlem elemanları gibi çeşitli endüstriyel malzemelerde paslanmaz çeliklerin kullanımı bulunmaktadır [5]. Korozyon direncini arttırmada nikel ve molibden gibi elementler kullanılsa da asıl belirleyici element kromdur. Bu çelik türünü diğer çelik alaşımlarından ayıran en önemli özellik en az %10,5-11 oranında krom içermesidir [6]. Krom içeren çelik, oksijen ile temas ettiğinde yüzeyinde ince bir krom-oksit tabakası oluşturur. Oluşan bu tabaka, çeliğin korozyona karşı korunmasını sağlar [4]. Paslanmaz çeliklerin kullanımı geniş bir sıcaklık aralığında olmakla beraber 540°C'ye kadar korozyona karşı dayanım gösterir [6,7]. Çeliğin paslanmazlık özelliği gösterebilmesi için, içerdiği alaşımlar ve bu alaşımların oranı değiştirilmektedir. Paslanmaz çelikler içerdikleri alaşımın türüne göre beş grupta incelenir [4]:

- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Dupleks Paslanmaz Çelikler
- Çökeltmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Bu derleme çalışmasında da ele alınan "östenitik paslanmaz çelikler" paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanılan üyesidir. 2022 Ocak ayında yayımlanan paslanmaz çelik pazar raporuna göre; östenitik paslanmaz çeliklerin dünyada paslanmaz çelikler içerisindeki pazar payı %70'tir [3]. Östenitik paslanmaz çelikler %16-25 oranında krom, %10-24 oranında Ni+Mn, %0,4'e kadar karbon ve çok az

miktarlarda molibden, titanyum, niyobyum gibi alaşım elementleri içerirler [6]. Nikel ve krom miktarı arttıkça paslanmaz çeliğin maliyeti de artmaktadır [8]. Bu paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahiptirler. Östenitik paslanmaz çeliğin üretiminde sıvı hal ile katılaşma başlangıcı arasında östenit ve delta ferrit taneleri oluşmaya başlar. Delta ferrit östenitin dönüşmesiyle oluşan ferritten farklıdır. Östenit taneleri arasında bulunan delta ferrit taneciklerinde katılaşma oluşur. Ortaya çıkan faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengeleyen elementler yönünden fakir olduğu için bu fazın oluşumu üretici firmaların istemediği bir durumdur. Çünkü bu faz malzemenin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırır ve malzemede çatlakların oluşmasında zemin hazırlar. Tanecik sınırlarında devamlı olarak bu fazın bulunması korozyon direncini azaltır. Yüksek sıcaklıklarda uzun süre delta ferrit fazı bulunursa mukavemet ve şekillendirilebilirlik kabiliyeti azalır, sert ve gevrek bir sigma fazı oluşur ve bu durum istenmez [4]. Yeterli miktarda nikel içerdiğinde mikroyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik yapı şeklindedir. Krom ve Ni+Mn oranları ayarlandığında geniş bir sıcaklık aralığında yüksek tokluk ve mukavemet gösterir. Östenitik paslanmaz çelikler 540°C'ye kadar korozyon direnci sağlamaktadır. Bu paslanmaz çelik türü, manyetik değildir ve soğuma sırasında östenitten ferrite dönüşüm sağlanmadığından su verme yöntemi ile sertleştirilemez [6]. Mikroyapısı ısı işlem için elverişli olmadığı için bu yöntemle mekanik dayanımları artırılmaz ancak soğuk şekillendirme ile mekanik dayanımları artırılabilir. Kaynak edilebilirlik kabiliyetleri yüksektir. Hijyenik oldukları için temizliği ve bakımı kolaydır [7]. Martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksek korozyon direncine sahiptir. Östenitik yapıda olduğu için ferritik paslanmaz çeliklerde problem yaratan geçiş sıcaklığı altında gerçekleşen gevrekleşme, bu tür çeliklerde söz konusu değildir. Çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklardaki korozyon dirençleri ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü, bu çelik türünün yapı çeliği olarak kullanılmasını sağlamaktadır [6]. Östenitik paslanmaz çelikler sıklıkla nemli ortamlarda tercih edilirler. Krom ve molibden içerikleri arttıkça çözeltilere karşı korozyon dirençleri de artmaktadır. Nikel içeriği arttıkça gerilmeli korozyon çatlaması riski azalmaktadır. Az miktarda eklenen diğer alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak korozyon dirençleri yükselmektedir. Böylelikle çeliğin klor içeren ortamlarda kullanımı artar. Makine ve imalat sanayi, mutfak gereçleri ve evyeleri, mimari uygulamalar, kimya tesisleri ve parçaları başlıca kullanım alanlarıdır [9-11].

## 3. Östenitik Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Gazaltı Kaynak Türleri

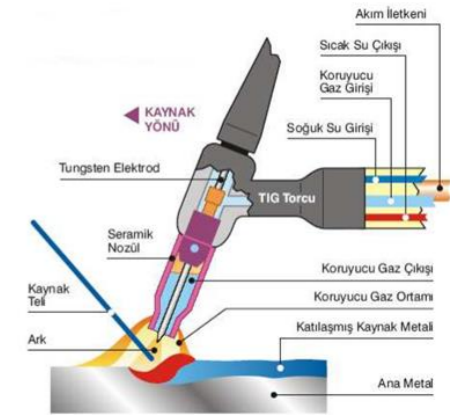
Bu çeliklere; ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri tercih edilebilir [12]. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) soğuması sırasında büyük oranda

büzülmeler meydana gelir ve bu büzülmeler ITAB'ta şiddetli gerilmeler oluşturarak çatlama tehlikesine sebebiyet verebilmektedir. Bu yüzden paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde sıcak çatlama problemi ile fazlasıyla karşılaşmak mümkündür [6]. Sıcak çatlak oluşumunu engellemek için kaynak esnasında düşük miktarda ferrit içeren bir mikroyapının oluşmasını sağlayan dolgu metalleri kullanılmaktadır [13]. Östenitik paslanmaz çeliklerin, ısı ve elektrik iletkenliklerinin düşük olması kaynak işlemi için çoğunlukla bir avantajdır ancak kaynak işleminin düşük ısı girdisi ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Çünkü oluşan ısı, kaynak edilen bölgeden hızlı bir şekilde uzaklaşmamaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynak ile birleştirilen üretimlerinde %90'dan daha fazlasında östenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebebi östenitik paslanmaz çeliklerin iyi kaynaklanabilirlik özelliği ve kaynak sonrasında, ITAB'ın ana metale yakın seviyede kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak ile birleştirilmesi diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha iyi olsa da bu tür paslanmaz çeliğin kaynağında da bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Genellikle üç temel problem ile karşılaşılır. Bunlar; krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon, sıcak çatlak oluşumu, sigma fazı oluşmasıdır [6]. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak işlemi için tercih edilen önemli yöntem gazaltı ark kaynağıdır. Bu yöntem; Tungsten Inert Gaz (TIG), Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Active Gaz (MAG) olarak sınıflandırılmaktadır [14].

### 3.1 TIG Kaynağı

TIG kaynağı, elektrik ark kaynağının bir türüdür. Tungsten kelimesi, elektrik akımını arka ileten elektrodu, Inert kelimesi, diğer elementlerle tepkimeye girmeyen gazı ve Gaz kelimesi de ısı tesiri altında kalan bölgeyi saran havayı, kaynak bölgesinden uzak tutan malzemeyi ifade etmektedir. TIG kaynağında, kaynak arkı erimeyen tungsten elektrod ile kaynak edilen malzeme arasında oluşmaktadır. ITAB'ı havanın etkisinden koruyan gaz türü argon veya helyum atmosferidir. Koruyucu gazın soğuk olma sebebi oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi karşılaşılacak sorunların önüne geçmektir. Koruyucu gazın soygaz olarak seçilmesinin bir diğer avantajı kaynak sırasında sıvı metali havanın olumsuz etkilerinden çok iyi korumasıdır. Bu yüzden TIG kaynağı, havanın oksijeni ile tepkimeye giren hafif metal alaşımları ve paslanmaz çelikler için çok yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde, en yaygın koruyucu gaz olarak argon tercih edilmektedir. Derin nüfuziyet gerektiren kaynak işlemleri için son yıllarda Ar ve He gazlarının karışımlarının kullanımı yaygınlaştırılmak istenmektedir [15]. TIG kaynağı işleminde, malzemenin kaynağı esnasında ayrıca bir kaynak metaline ihtiyaç duyulmaktadır [14]. Bu yöntem ile elde edilen kaynak dikişleri diğer kaynak yöntemleriyle elde edilenlere göre daha üstün özelliklere sahiptir. İlk olarak sadece havacılık sektöründe kullanılan bu kaynak yöntemi, son zamanlarda magnezyum alaşımlı

malzemelerin kaynağında denenmiş ve olumlu sonuçlar alınarak bu yöntemin diğer sektörlerde kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Alüminyum, magnezyum, paslanmaz çelik türleri ve diğer endüstriyel demir dışı metal ve alaşımların kaynağında tercih edilen bir yöntem olmuştur. TIG kaynağının avantajları; düzgün kaynak dikişi vermesi ve kaynaktan sonra kaynak dikişini temizlemeye ihtiyaç duyulmaması, ısı girdisi sadece kaynak bölgesinde olduğu için kaynaklanan malzemede deformasyonun düşük olması, yüksek nüfuziyetli ve gözeneksiz kaynak vermesidir. Bunların yanında kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik olmaması ve metal yığma hızı diğer kaynak yöntemlerine göre düşük olması gibi olumsuz yanları da bulunmaktadır [15]. TIG kaynağı şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir.

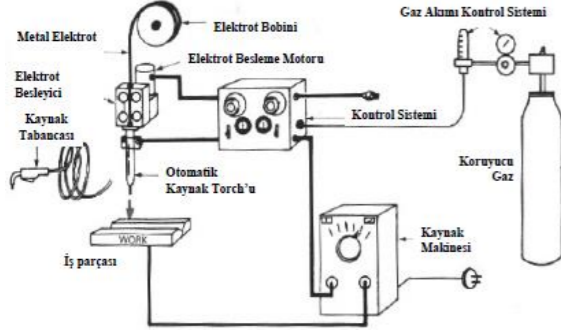


Şekil 1. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [15,16]

### 3.2 MIG/MAG Kaynağı

Gazaltı metal ark kaynağı, koruyucu gazın inert veya aktif olmasına göre MIG ve MAG olarak ikiye ayrılmaktadır. MIG kaynağında, genellikle koruyucu gaz olarak argon atmosferi tercih edilmektedir, bunun yanında helyum gazı da tercih edilebilir. MAG kaynağında aktif bir gaz olan karbondioksit gazı kullanılır. Saf karbondioksit ile karşılaştırıldığında daha pahalı olsa da argon ile karbondioksit karışımı gazlar çok gelişmiştir ve son zamanlarda MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların neredeyse %75-80'i karışım gazıdır [14,16]. İlk olarak alüminyum ve alaşımlarının, daha sonraları yüksek alaşımlı çeliklerin, karbonlu çeliklerin, bakır ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır [14]. TIG kaynağından farklı olarak MIG kaynağında, eriyen elektrod kullanılmaktadır. Böylelikle eriyen elektrod hem enerji taşıyıcı hem de kaynak ilave metali görevi görmektedir [16]. Yüksek akım şiddeti nüfuziyetli derinleştirmeye yarar ve kaynak işlemi sadece yüksek akımla yapıldığında mükemmel bir erime özelliği sağlanmaktadır. MAG kaynağı, ilk olarak otomobil sektöründe kullanılmış ve yalnızca yatay pozisyonda kaynak işlemi yapılabilenken sonraları ince çaplı elektrod

kullanımı başlamış ve bu sayede her pozisyonda kaynak işleminin yapılması mümkün hale gelmiştir. MIG/MAG kaynak yöntemi geniş ayar imkânları, farklı takviye malzeme ve ekipmanları yardımıyla günümüzde ince sacdan kalın kesitli parçalara kadar geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Şekil 2'de MIG kaynağı şematik olarak gösterilmiştir [14].



Şekil 2. MIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [14]

#### 4. Kullanılan Koruyucu Gazlar

Birçok metal türü oksit oluşturmak için oksijen ile birleşmeye çok yüksek eğilim ve metal nitritleri oluşturmak için azotla birleşmeye daha az oranda eğilim göstermektedirler. Atmosfer ortamı yaklaşık olarak %80 azot, %20 oksijenden oluştuğu için malzemenin kaynak edilmesi esnasında bahsi geçen reaksiyonların ürünlerinin oluşması yüksek ihtimaldir. Koruyucu gazın en önemli görevi ITAB'ın atmosferik ortamla temasını engellemektir [17]. Bu bölümde gazaltı kaynak türlerinden olan TIG ve MIG/MAG yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazların özellikleri açıklanacaktır. Çizelge 1'de gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazların kimyasal sembolleri ile birlikte genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazların özellikleri [18]

Gaz	Kimyasal Sembolü	Moleküler Ağırlığı	Özgül Ağırlığı	Yoğunluk		İyonizasyon enerjisi eV
				g/ft <sup>3</sup>	g/L	
Argon	Ar	39,95	1,39	0,1114	1,784	15,7
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	44,04	1,53	0,1235	1,978	14,4
Helyum	He	4,00	0,1368	0,0111	0,178	24,5
Hidrojen	H <sub>2</sub>	2,016	0,0596	0,0056	0,090	13,5
Azot	N <sub>2</sub>	28,01	0,967	0,782	12,5	14,5
Oksijen	O <sub>2</sub>	32,00	1,105	0,0892	1,43	13,2

#### 4.1 Argon Gazı

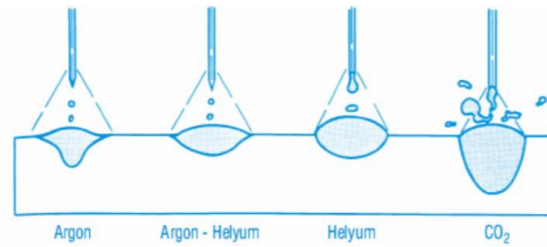
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en fazla tercih edilen koruyucu gaz türü argondur [6,19]. Ar tek atomlu, renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan bir soygazdır. Atmosferik ortamda %1'in altındaki oranda bulunsada daha

ekonomik olduğu için argon atmosferden elde edilmektedir. Havadan %38 daha ağır bir soygazdır. Özellikle yatay kaynak pozisyonunda, kaynak sırasında ısı tesiri altında kalan bölgeyi çok iyi korumaktadır. Ar düşük iyonizasyon enerjisine sahiptir ve bu yüzden argon koruyucu gaz altında arkın tutuşması daha kolay ve güvenilir olmaktadır. Bu avantaja argon gazının akış hızının büyük olması ve ark voltajının daha düşük olması da eklenebilir. Düşük voltaj kullanıldığı için ince saclar yanık oluşmadan kaynaklanabilmektedir [6]. Buna ek olarak malzeme çarpılmalarının ve süreksizliklerinin tespitinde de kullanılmaktadır [18].

#### 4.2 Helyum Gazı

Atmosferde çok az miktarda bulunmaktadır ve ayrıştırılması endüstriyel olarak imkânsızdır. He doğal gazdan ayrıştırılan tek atomlu hafif bir soygazdır ve tüp içerisinde sıkıştırılmış bir gaz şeklinde depolanmaktadır. He, Ar kıyasla on kat daha hafiftir ve bu yüzden kaynak işlemi sırasında etkili bir korumanın sağlanması için ihtiyaç duyulan koruyucu gaz miktarını arttırmaktadır. Yatay kaynak pozisyonunda, aynı işlemde argonun sağladığı korumayı elde etmek için helyumun 3 kat daha fazla olması gerekmektedir. He ısıyı iyi iletmediği için koruyucu gaz olarak kullanımlarında daha derin nüfuziyetli kaynak dikişleri sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde kalın kesitli malzemelerin kaynağında tercih edilir. İyonizasyon potansiyeli argona göre daha yüksek olduğu için helyum koruyucu gazında oluşan kaynak arki daha yüksek enerjilidir. Bu yüzden ısıyı ileten Cu, Al ve Mg gibi demir dışı metallerin kaynağında genellikle ön ısıtma şartı gerektirmez [6].

Ar ve He karışımıyla oluşan koruyucu gazlar, her iki gazında üstün özelliklerine sahiptirler. Böylelikle nüfuziyet ve ark kararlılığı istenilen seviyeye getirilmiş olur [6]. Bu şekilde oluşan koruyucu gazda helyum oranı arttıkça ark voltajı, sıçrama miktarı ve nüfuziyet derinliği artmaktadır. Yüksek kaynak etme hızı karışımdaki helyum miktarının artırılmasıyla elde edilir [18]. Örneğin; helyuma %25 Ar eklenmesiyle saf argon haline göre daha derin bir nüfuziyet ve saf argon halinden daha üstün ark kararlılığı birlikte sağlanmaktadır [6]. Şekil 3'te saf Ar, Ar+He, saf He ve CO<sub>2</sub> koruyucu gaz olarak kullanılmasında kaynak dikiş şekline ve kaynak nüfuziyetine etkisi gösterilmektedir [17].



Şekil 3. Çeşitli koruyucu gazların dikişin şekline ve nüfuziyetine etkisi [17]

#### 4.3 Hidrojen Gazı

Kaynak bölgesinde hidrojen gazı, ark oluşurken atomlara ayrılmaktadır. Ayrışan gazı düşük sıcaklıklarda kaynak yerinden ayrılan atomlarla tekrar birleşmektedir ve alınan ısı geri verilmektedir. Bu yöntemle kaynak işlemi daha kolay hale gelmektedir. Ayrıca tungsten elektrodlar ile oksidasyona karşı koruma avantajı sağlamaktadır. Kaynak sanayisinde karışım koruyucu gazlarında parlayıcı gaz olarak hidrojen gazı tercih edilmektedir. Bu durumun en önemli sebebi hidrojenin sudan kolay elde edilebiliyor olmasıdır. Hidrojen havadan çok daha hafiftir ayrıca renksiz, kokusuz, tatsız bir gazdır ve en önemlisi zehirli değildir. Genellikle bu gaz TIG kaynağı işleminde argona belirli bir oranda katılmaktadır. Argon gazına hidrojen eklendiğinde arkta voltaj düşmektedir ve böylelikle ark gücü artmaktadır. Hidrojen yüksek ısı iletkenliğe sahiptir, bu yüzden ark daha dar ve derin nüfuziyet sağlamaktadır. Hidrojen gazı kaynak dikişinin yüzeyinde oksit oluşumunu engelleyerek kaynak dikiş görüntüsünü güzelleştirmektedir [6].

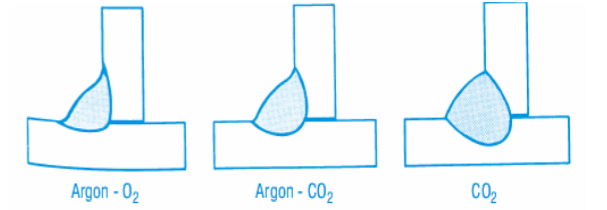
#### 4.4 Azot Gazı

Hidrojenin bulunmadığı ülkelerde ender olarak koruyucu gaz görevinde azot gazı kullanılmaktadır. Ark voltajını ve amperini yükseltmektedir. Kaynak bölgesinde ısı transferi helyum ve argona göre daha yüksektir. Ark kaynağı sırasında termal ayrışmaya uğramaktadır. Azot iki atomlu bir gazdır, kaynak bölgesinde çözünmektedir. Havanın %80'i azottan oluşmaktadır. Argon koruyucu gazına %12'ye kadar azot eklenebilir. Azot koruyucu gazının kullanılması yüzey geriliminin azalmasına sebep olmaktadır. Kaynak bölgesinde atıklar oluşturduğu için azotun koruyucu gaz olarak kullanılması çeliklerin kaynağında zorluk çıkarmaktadır. Çünkü ısı tesiri altında kalan bölgedeki demir büyük oranda azotu içine çekmektedir. Katılışırken demir nitrat bileşiği oluşturup, çekme dayanımı ve sertlik gibi bazı özelliklerini arttırmaktadır. Fakat bu durum kaynak bölgesinde çatlamalara neden olmaktadır. Kaynak sırasında havanın etkisinden korunmadığı için kaynak bölgesinde boşlukların oluşmasına sebep olur ve kaynağın kalitesini düşürür [6]. Azot kuvvetli bir östenit yapı oluşturduğundan östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu Ar gazına eklenirse delta ferrit miktarını düşürür [5,19].

#### 4.5 Karbondioksit Gazı

Karbondioksit reaktif bir gazdır ve genellikle karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır. Elde edilmesi çok basittir, diğer gazlara göre çok daha ucuzdur. Yapı çeliklerin kaynağında tercih edilmektedir. Nüfuziyet derinliği çok iyidir ve yüksek kaynak hızlarına çıkılabilmektedir. Kaynak dikiş yüzeyi daha oksitli ve pürüzlüdür [18]. Yüksek iyonizasyon enerjisi ve yüksek ısılarında çok büyük ergime hızı vermektedir. Argonca zengin koruyucu gazla karşılaştırıldığında karbondioksit gazı daha kaba bir yüzey oluşturmaktadır. Sağlam kaynak dikişleri elde edilse de ark

oksitleyici özellikte olduğu için kaynak dikişinin mekanik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir [17]. Şekil 4'te koruyucu gaz olarak kullanılan argon gazı içerisinde oksijen, argon gazı içerisinde karbondioksit katılmasının ve koruyucu gaz olarak kullanılan karbondioksit gazının kaynak dikişine ve nüfuziyetine etkisi gösterilmektedir.

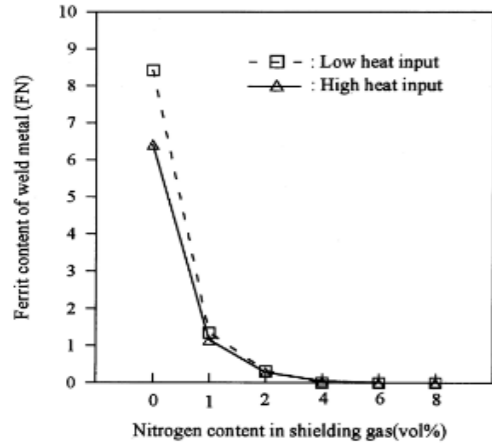
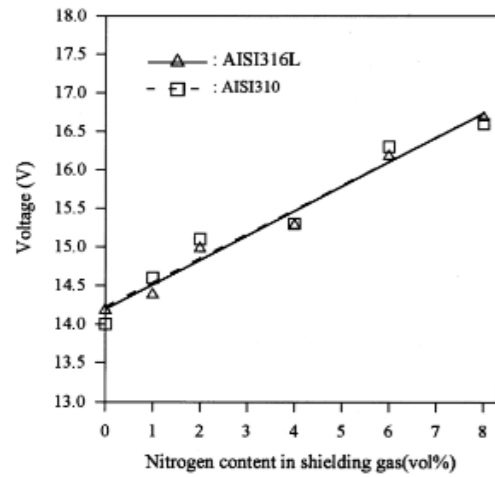
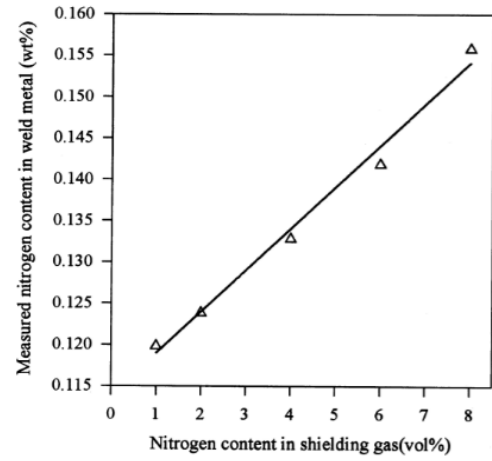


Şekil 4. Argon+Oksijen, Argon+Karbondioksit ve Karbondioksit gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi

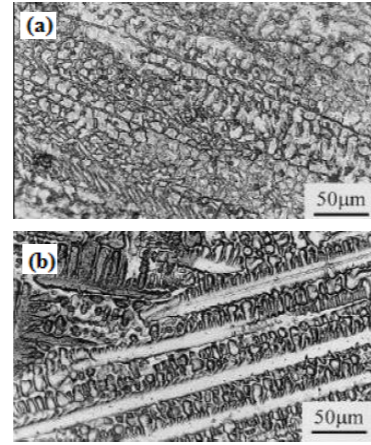
#### 5. Koruyucu Gazın Kaynaklı Yapıya Etkisi

Östenitik paslanmaz çeliklerin yapısında bulunan delta ferrit miktarı çeliğin mekanik özelliklerine etki etmektedir ve hacimce en uygun değeri %5-10 oranında olup sahip olduğu süneklik, tokluk ve korozyon direnciyle kaynak dikişinin soğuması sırasında oluşabilecek sıcak çatlama direncini arttırmaktadır. Koruyucu argon gazına eklenen diğer gazlar kaynaklanan malzemenin mikroyapısına etki eder. Koruyucu argon gazının içerisinde az miktarda azot ilavesi kaynak malzemesi içerisindeki delta ferrit miktarını düşürür [5,19].

Lin ve Chen [20], yaptıkları çalışmada; 316L paslanmaz çeliğin TIG kaynak işlemi ile birleştirilmesinde, azot miktarının değişmesiyle kaynak bölgesinin azot içeriğinin etkilerini incelemiştir. Şekil 5(a)'da; koruyucu gazın içerdiği azot miktarına bağlı olarak voltaj yükselmesi; Şekil 5(b)'de ve yüksek-düşük ısı girdisinde malzemede ferrit içeriği değişimi Şekil 5(c)'de gösterilmektedir. Yapılan bu çalışmada kaynak akımı ve hızı sabit tutulmuş olmasına rağmen voltaj ve ısı girdisinin artış sebebi koruyucu gaz içerisindeki azot miktarıdır. Şekil 6'da 316L östenitik paslanmaz çeliğin kaynağının koruyucu gaz olarak önce saf argon ve sonra %8 azot içeren argon koruyucu gazlarıyla yapılması sonucunda elde edilen kaynak dikişinin optik mikroskopta çekilmiş mikroyapıları verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi iki farklı koruyucu gaz ortamında farklı mikroyapılar oluşmuştur. Bunun sebebi delta ferrit miktarının farklı olması olarak belirtilmiştir.

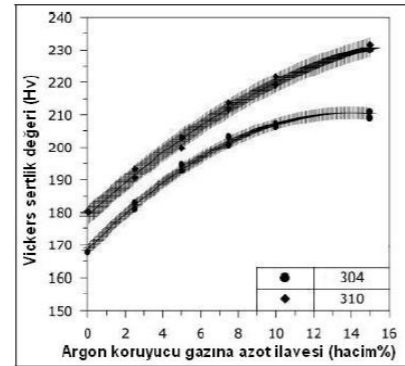


Şekil 5. Koruyucu gaz içerisindeki azot miktarına bağlı olarak; (a) kaynak metalinde ölçülen azot miktarı, (b) 316L östenitik paslanmaz çelik için gerilim değerleri ve (c) farklı ısı girdilerinde kaynak metalindeki ferrit miktarı [20]



Şekil 6. Düşük ısı girdisi altında 316L östenitik paslanmaz çeliğin (a) Ar ve (b) Ar+%8N içeren koruyucu gazla yapılan kaynak dikişinin mikroyapı fotoğrafları [20]

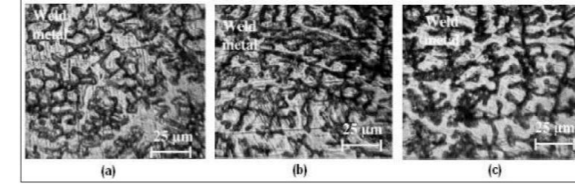
Şekil 7'de koruyucu Ar gazı içerisindeki azot miktarının değişmesine bağlı olarak kaynaklanan malzemenin sertlik değerlerindeki dağılım verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi argon gazı içerisindeki azot miktarı arttıkça sertlik değeri de artmaktadır. Ogawa ve diğ. [21], yaptıkları çalışmaya göre, oluşan arayer katı çökeltme mekanizması büyük bir ihtimale östenitik paslanmaz çeliğin sertliğinin artmasına neden olduğu söylenmektedir.



Şekil 7. TIG kaynak yönteminde koruyucu argon gazına azot ilavesine bağlı olarak östenitik paslanmaz çeliklerde Vickers sertlik değerleri [21]

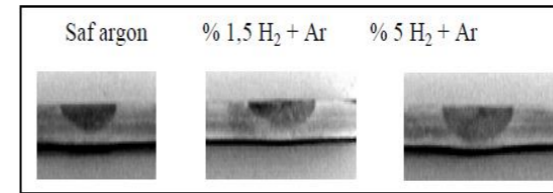
Şekil 8'de koruyucu argon gazı içerisine farklı oranlarda hidrojen ilave edilerek 316L tipi östenitik paslanmaz çelikler TIG kaynağı ile kaynaklanmıştır. Durgutlu [22] yapmış olduğu çalışmada; argon içerisindeki hidrojen oranının artmasıyla kaynaklanan malzemenin çekme dayanımının da arttığı görülmüştür. Fakat hidrojen oranının fazla artışıyla çekme dayanımı ve %uzama değerlerinde düşüş görülmüştür. Buna ek olarak kaynaklanan malzemenin

içerisindeki hidrojen miktarının artması kaynak metalindeki sertlik değerinin de artışına sebep olmuştur. Kullanılan bütün koruyucu gaz kompozisyonlarında yapılan eğme deneyleri sonucunda numunelerde herhangi bir çatlama rastlanmamıştır. Kaynaklanan malzemenin mikroyapısında görülen koruyucu gaz olarak saf argon kullanılan kaynak işlemlerinde mikroyapısında görülen tane boyutu daha küçüktür.



Şekil 8. Koruyucu gaz olarak (a) saf argon, (b) %98,5 argon + % 1,5 hidrojen, (c) % 95 argon + % 5 hidrojen kullanılarak yapılan kaynak edilen yapıların mikroskop görüntüleri [22]

Kahraman ve diğ.[1], yaptığı çalışmada; 316L paslanmaz çelik levhalara TIG kaynak yöntemiyle farklı bileşimde koruyucu gazlar altında çekilen kaynak dikişleri üzerinde yapılan nüfuziyet, sertlik ve mikroyapı görüntüleri araştırılmıştır. Bu çalışmada nüfuziyet profilleri incelendiğinde hidrojen miktarının artmasıyla nüfuziyet derinliği ve dikiş genişliği artmıştır. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde koruyucu gazın içerisindeki hidrojen miktarı arttıkça ısı tesiri altında kalan bölgedeki tanelerin irileştiği tespit edilmiştir. Hidrojen miktarı arttıkça ısı girdisi artmış ve buna bağlı olarak ısı tesiri altında kalan bölge genişlemiştir. Hidrojen miktarının artmasıyla aynı kaynak parametrelerinde daha hızlı kaynak sağlanmıştır [1]. Şekil 9'da saf argon koruyucu gazına belli oranlarda eklenen hidrojen gazının bulunduğu ortamlarda yapılan kaynak dikişlerinin malzemelerin makro dağılımı ile elde edilen nüfuziyet derinlikleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere argon koruyucu gazına eklenen hidrojen miktarı arttıkça nüfuziyet derinliği arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Değişik gaz korumaları altında çekilmiş kaynak dikişlerinin nüfuziyet profilleri [1].

Abuç [6] yaptığı çalışmada; AISI 304, AISI 316 ve AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelikler farklı koruyucu gaz kompozisyonları altında TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre AISI 304 östenitik

paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde en yüksek çekme dayanım değerleri Argon+%5 azot koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmelerde, en yüksek % uzama değerleri ise saf argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde en yüksek çekme dayanım değeri Ar+%25 He koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. AISI 316 Ti östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde en yüksek çekme dayanım değeri Argon+%5 hidrojen, en yüksek uzama değeri Argon+%25 helyum koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Kaynak bölgelerinden alınan kesitlere uygulanan sertlik ölçümlerinde en yüksek sertlik değerleri AISI 304 östenitik paslanmaz çelik için Ar+%25 helyum, AISI 316 östenitik paslanmaz çelik için Ar+%5 N ve AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelik için Ar+%25 He gazı kullanımlarında tespit edilmiştir.

## 6. Genel Değerlendirme

Yapılan araştırmalar sonucunda koruyucu gazın, kaynak işlemine ve elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen etkileri vardır:

- Arkın karakteristiği,
- Metal transferinin şekli,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin şekli,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluşma eğilimi,
- Temizleme etkisi,
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri.

## Referanslar

- [1] N. Kahraman, A. Durgutlu, B. Güleç, 316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması, Politeknik Dergisi, 7(3) 223-228, 2004.
- [2] Y. Kaya, AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3) (2010) 549-557.
- [3] <a href="https://www.metalbulletinresearch.com/Publication/199461/StainlessSteels.html#:~:text=Austenitic%20stainless%20steel%20accounts%20for,of%20all%20stainless%20steel%20production">https://www.metalbulletinresearch.com/Publication/199461/StainlessSteels.html#:~:text=Austenitic%20stainless%20steel%20accounts%20for,of%20all%20stainless%20steel%20production> Tarih: 15.02.2022.
- [4] B. Balci, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Y. Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, 2008, Karabük, Türkiye.
- [5] R. Yılmaz, Z. Barlas Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(3) (2011) 391-400.

- [6] S. Abuç Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi, Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006, Sakarya, Türkiye.
- [7] Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., (2004)"Sarıtaş Teknik Yayın" No:1, 2.Baskı, İstanbul.
- [8] W. F. Smith, Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1, 169-214, 2000, Ankara, Türkiye.
- [9] <<https://borsenboru.com/paslanmaz-celik-nedir>> Tarih: 25.02.2022.
- [10] <<https://www.karacapaslanmaz.com/paslanmaz-celik>> Tarih: 25.02.2022.
- [11] <<https://bircelik.com/tr/kategori/paslanmaz-celik-siniflari>> Tarih: 25.02.2022.
- [12] E. Çelik, Martenzitik Paslanmaz Çelik Ve Ferritik Paslanmaz Çeliğin Kendileriyle Ve Birbirleriyle Sürtünme Karıştırma Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2006, Elazığ, Türkiye.
- [13] C. Odabaş, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak, İstanbul, Türkiye.
- [14] Y. S. Tama, Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri Ve Sakıncalı Yönleri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2009, Pamukkale, Türkiye.
- [15] E. Koca, TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, 2010, İstanbul, Türkiye.
- [16] S. Anık, M. Vural, Gazaltı Ark Kaynağı (TIG.MIG.MAG), Gedik Holding Yayınları, 3. Baskı 1997, 111-125, İstanbul, Türkiye.
- [17] İ. B. Eryürek, Askaynak Gazaltı Ark Kaynağı, 2007, İstanbul, Türkiye.
- [18] F. Kahraman, Y. Babayev, S. Karadeniz, Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar Ve Özellikleri, Qafqaz Üniversitesi Dergisi, 2008, Sayı 21, s89-98.
- [19] C. Odabaş, Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Askaynak-İstanbul, 2004.
- [20] Y. C. Lin, P. Y. Chen, Effect of Nitrogen Content and Retained Ferrite on Residual Stress in Austenitic Stainless Steel Weldments, Materials Science and Engineering A, 307, p.165-171, 2001.
- [21] T. Ogawa, K. Suzuki, T. Zaizen, The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steel: Part II- Porosity Cracking and Creep Properties, Welding Journal, 63 (7), 213-223, 1984.
- [22] A. Durgutlu, Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel, Materials and Design, 25, 19-23, 2004.

## Piston Pimlerinde Kullanılan Çelik Alaşımlarının Değişen Kuvvet Etkileri Altında Mekanik Özelliklerinin Simülasyonu

Simulation of Mechanical Properties of Steel Alloys Used in Piston Pins Under the Effects of Changing Forces



**Onur Cihan BOYUNEGMEZ, Gizem KARABULUT, Nuray BEKÖZ ÜLLEN**  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa - Türkiye

### Abstract

Piston pins are an important part that transfers the pressure created as a result of combustion in the engine from the piston to the connecting rod and affects the engine performance. The piston moves vertically with the effect of pressure and transfers its energy to the connecting rod to which it is connected via the pin inside. The task of transmitting the force is entirely on the piston pin. Piston pins must have high shear strength in order to transfer forces acting in opposite directions in a healthy way. However, they must be hardened so that they can work without deformation under large impacts and pressures. The connection points must be movable, as the connecting rod turns the vertical movement of the piston into an oval movement. The piston pin surface, which forms the movable connection point, should provide the sliding movement without wear under constant pressures in variable directions. Therefore, knowing the forces affecting the piston pin and examining their effects are important for the steel to be selected for the piston pin. In this study, multidirectional forces acting on piston pins were designed using "Siemens NX" software and analyzed with simulations with the help of "ANSYS Workbench" program. The mechanical properties of piston pins obtained from different steel alloys against forces were determined.

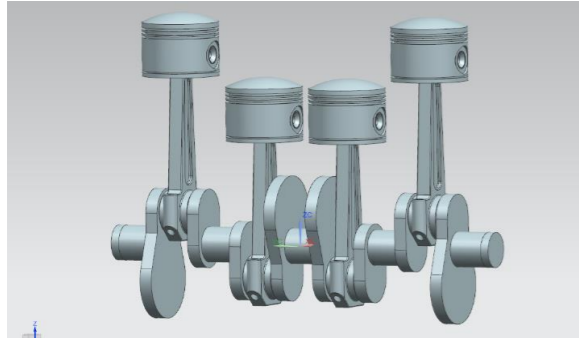
### Özet

Piston pimleri motor içerisinde yanma sonucunda oluşan basıncı pistondan biyel koluna aktaran ve motor performansını etkileyen önemli bir parçadır. Piston, basıncın etkisiyle dikey yönde hareket eder ve içerisinde bulunan pim sayesinde bağlı olduğu biyel koluna enerjisini aktarır. Kuvvetin aktarılması görevi tamamen piston piminin üzerindedir. Zıt yönlerde etkileyen kuvvetleri sağlıklı bir şekilde aktarabilmesi için piston pimlerinin yüksek kesme dayanımına sahip olmaları gerekir. Bununla birlikte büyük darbeler ve basınçlar altında deformasyona uğramadan çalışabilmeleri için sertleştirilmeleri gerekir. Pistonun dikey yönlü hareketini biyel kolu oval bir harekete çevirdiği için bağlantı noktaları hareketli olmalıdır. Hareketli bağlantı

noktasını oluşturan piston pimi yüzeyinde değişken yönlü sürekli basınçlar altında kayma hareketini aşınma olmaksızın sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, piston pimini etkileyen kuvvetlerin bilinmesi ve etkilerinin incelenmesi piston pimi için seçilecek alaşım açısından önemlidir. Bu çalışmada, piston pimleri üzerine etkileyen çok yönlü kuvvetler "Siemens NX" yazılımı kullanılarak tasarlanmış ve "ANSYS Workbench" programı yardımıyla simülasyonlar ile incelenmiştir. Farklı alaşımlardan elde edilen piston pimlerinin kuvvetler karşısında gösterdiği mekanik özellikler belirlenmiştir.

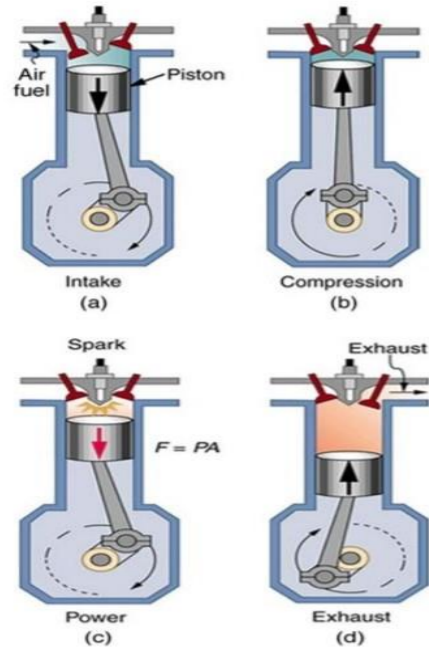
### 1. Giriş

Günümüzde otomobiller hayatımızı kolaylaştıran en önemli araçlardan bir tanesidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte otomobiller de farklı kullanım alanları için yenilikçi çalışmaların ışığında geliştirilmeye devam edilmektedir. Otomobiller farklı amaçlar için kullanılabilir, bunlar seyahat etmek, yük taşımak, otomobil yarışları, toplu ulaşım, ticari taşımacılık vb. olabilir. Tüm kullanım alanları göz önüne alındığında değişmeyen en önemli faktörün araçlarda kullanılan içten yanmalı motorlar olduğu görülmektedir. İçten yanmalı motorlar verimlilik, bulunabilirlik, erişilebilirlik, kullanım yaygınlığıyla birlikte yedek parça kolaylığından ve farklı amaçlar için kullanılacak araçlara özelleştirilebilmesi açısından geçmişten günümüze tüm üreticilerin ve kullanıcıların tercih sebebi olmuştur. Tüm içten yanmalı motorlardan beklenen ortak özellikler minimum yakıt tüketimi ve maksimum verimliliğidir. Bu faktörleri sağlayabilmek için malzeme seçimi ve motor tasarımı önemli etkenlerdir. Bunların yanında motor malzemeleri istenilen verimliliği sağlayabilmeli ve uzun yıllar sorun oluşturmadan çalışmalıdır. İçten yanmalı motorların genel tasarımı incelendiğinde piston, piston pimi, biyel kolu ve krank mili ana parçalar olarak görülebilir. Şekil 1'de içten yanmalı motora ait piston, piston pimi, biyel kolu ve krank milinin Siemens NX 12.0 programında hazırlanmış katı modelin ekran görüntüsü verilmiştir.



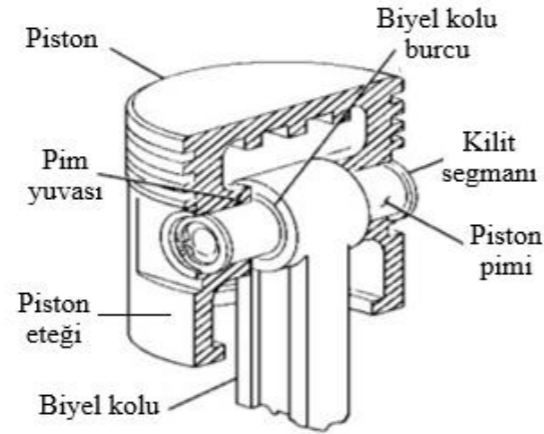
Şekil 1. İçten yanmalı motora ait katı model ekran görüntüsü.

İçten yanmalı motorların çalışma prensibi hava ve yakıt karışımının sıkıştırma yoluyla ya da buji yardımıyla ateşlenerek yanması sonucu basınç açığa çıkmasına dayanır. Şekil 2'de içten yanmalı motorun çalışma prensibine ait (a) hava ve yakıtın yanma odasına püskürtülmesi, (b) hava ve yakıt karışımının piston aracılığıyla sıkıştırılması, (c) bujinin ateşlenmesiyle yanma odasında patlamanın gerçekleşmesi ve (d) yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının dışarıya atılması gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) hava ve yakıtın yanma odasına püskürtülmesi, (b) hava ve yakıt karışımının piston aracılığıyla sıkıştırılması, (c) bujinin ateşlenmesiyle yanma odasında patlamanın gerçekleşmesi ve (d) yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının dışarıya atılması [1].

Yanma odasında gerçekleşen patlamayı pistonun baş kısmı karşılamaktadır. Oluşan basınçla birlikte piston doğrusal olarak hareket etmeye başlar, bu hareket pistonu bağlı biyel kolu aracılığıyla krank miline aktarır. Krank miline pistonun doğrusal hareketi tasarımı sayesinde dairesel harekete dönüştürür. Bunun sağlanmasındaki en önemli faktör piston ve krank miline arasında kuvvet aktarım görevi gören biyel kolunun krank miline tam merkezden bağlı olmamasıdır. Pistonda oluşan hareketin biyel koluna aktarılması ise piston pimi aracılığıyla gerçekleştirilir. Şekil 3'te piston, biyel kolu ve piston piminin montaj ilişkisi verilmiştir. Pistonun etek kısmının üstünde ve baş kısmının altında bulunan piston pim yuvasına çok düşük toleranslarla yerleştirilen piston pimi orta noktasından da biyel kolunun küçük baş kısmına bağlıdır. Ani oluşan kuvvetler pistonu dikey doğrultuda -z eksenine yönünde hareketlenmeye zorlar, oluşan bu hareketlenme piston piminden biyel koluna aktarılır ve bu noktada biyel kolunun karşı koyma durumu nedeniyle piston piminin orta noktasına +z eksenine doğrultusunda kuvvet uygular. İki yönde ani olarak etkiyen kuvvetler piston pimi çatlaklara, burkulmalara ve deformasyona neden olabilmektedir [2].

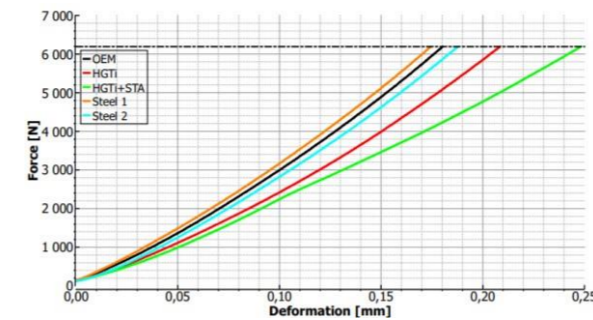


Şekil 3. Piston, piston pimi ve biyel kolunun montaj ilişkisi [1].

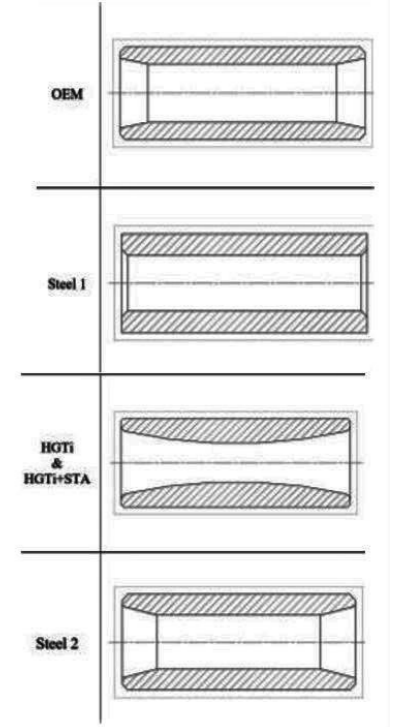
Tüm kuvvetin tek bir parça üzerinden aktarılıyor olması bu malzemelerin üstün özelliklere sahip olmasını gerektirir. Piston pimleri çalışma koşulları gereği kuvvet aktarımı yaparken aynı zamanda sürtünmeye de maruz kalmaktadırlar. Bu sürtünme biyel kolunun açılı kuvvet aktarımı görevi görebilmesi için pistonla hareketli bağlantı sağlaması gerektiği için oluşur. Hareketli bağlantı çok düşük toleranslarda işlenen piston pim yuvası, piston ve biyel kolu küçük baş kısmı arasında oluşur. Buradaki sürtünme hareketi sürekli değişen yükler nedeniyle iki malzeme arasında ani basınçlar altında gerçekleşebilir. Bu da piston piminin aşınmasını hızlandırır. Ayrıca piston pimi ve piston veya biyel kolu arasında oluşan herhangi bir boşluk,

aktarılan kuvvetlerin piston pimine vurmasına neden olabilir. Bu vurma hareketi motorda titreşimli çalışmaya neden olabilir ve büyük motor sorunlarına sebebiyet verebilir. Piston pimlerinde sürtünmeye karşı dayanım elde etmek için genellikle parçalara ısıtılma işlemi uygulanır ve yüzey kaplaması yapılır. Yapılan bu ısıtılma işlemi ve kaplama piston piminin sert bir yüzeye sahip olmasını sağlar ve sürtünme dayanımını en üst noktaya çıkarır. Sürtünmeden dolayı istenen yüzey sertliği malzemenin iç kısımlarında yüksek oranlarda istenmez. Bunun nedeni piston pimlerine zıt yönlere ani kuvvetlerin uygulanması sonucu çatlak ve kırılmaların yaşanma riskidir. Bu nedenlerden dolayı piston pimleri özel üretim kademelerinden geçirilerek hazırlanır [2].

Piston pimlerinde istenen özelliklerin başında çalışma koşullarından dolayı yüzey sertliği ve yorulma dayanımı gelmektedir. Piston pimi malzemesi olarak sektörde genellikle sementasyon çelikleri kullanılmaktadır. Farklı üretici firmalar çeşitli çelik alaşımları kullanabilmektedir. Çelik alaşımlarının yanında gelişen teknolojiyle birlikte titanyum alaşımları da piston pimlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Ani ve yüksek kuvvetlere karşı dayanımın sağlanabilmesi için çelik alaşımı tercih edildiğinde genellikle malzemelere sertleştirme amacıyla dövme ya da ısıtılma işlemi uygulanmaktadır [3]. Piston pimlerinin deformasyona uğramasının bir diğer nedeni de yanlış pim tasarımıdır. Ji ve diğ. [4] yaptığı bir çalışmada; piston pimi deformasyonlarının birçoğunun tasarım hatalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Piston pimleri her ne kadar dış yüzeyleri pürüzsüz ve basit tasarlanmış görülsede bütünlüğün yük altında korunabilmesi ve mukavemetin artırılabilmesi için hafiflik amacıyla oyulan iç kısımları farklı şekillerde tasarlanmaktadır. Bohn [1], tarafından yapılan çalışmada; dört farklı tasarıma sahip piston pimleri MXRR firması tarafından piston pimi mekanik testi için geliştirilen cihazda test edilmiş ve tasarımın piston pimi dayanımına etkisi görülmüştür. Şekil 4'te ve Şekil 5'te sırasıyla; test sonuçları ve sonuçlara ait dört farklı piston pimi gösterilmektedir. Yapılan test sonuçlarından da anlaşıldığı gibi aynı malzemeden üretilmiş farklı tasarımdaki piston pimlerinin deformasyon oranları farklı çıkmıştır.



Şekil 4. Yapılan test sonucu dört farklı piston piminin deformasyonları [1].



Şekil 5. Dört farklı piston pimi tasarımı [1].

Çalışmamızda mekanik analizi yapılacak olan piston pimi ve bununla birlikte montaj parçaları olan biyel kolu ve piston, çizimleri ve 3D modellemeleri Siemens NX 12.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Siemens NX programı 2007 yılından bu yana PLM Software tarafından geliştirilen üst düzey bir CAD yazılımıdır. Yapılan literatür taramasında motor parçalarının farklı malzemeler tanımlanarak mekanik analizlerinin yapıldığı birçok çalışma incelenmiştir [5-8]. Yapılan çalışmalarda motor parçaları "Computer-Aided Design (CAD)" yazılımları kullanılarak tasarlanmaktadır. CAD yazılımları yüksek hassasiyette parça modellemesi ve katı oluşturma konusunda başarılı programlardır. Test edilecek parçaların katı modellerinin oluşturulmasından sonra ANSYS Workbench programı kullanılarak stres analizleri yapılmıştır. ANSYS programı birçok araştırmacı tarafından motor parçalarının analizinin yapılması için kullanılmıştır [1,6-8]. ANSYS programında analiz yapılma adımları: program tanımlanan parçaya "nodes" adı verilen düğümler atar ve düğümler parçada mesh adı verilen bir ağ oluşturur. Oluşturulan bu ağ yapısı malzemeye uygulanan bir kuvvetin program tarafından çok küçük parçalara bölünerek incelenmesine olanak sağlar ve program test parçası için tanımlanan malzeme çeşidine göre ağ yapısı yardımıyla kritik değerleri hesaplar [8].

Bu çalışmada 20CrMnTi, AISI 4130, Ti-6Al-4V ve AISI 4340 alaşımlarından imal edilen piston pimlerinin değişken kuvvetler karşısında gösterdiği mekanik özellikler; Siemens NX 12.0 programı ile tek bir tasarım üzerinden tanımlanmış ve ANSYS ile analiz edilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Piston pimi analizleri için dört farklı malzeme seçilmiştir. Bu malzemeler 20CrMnTi, AISI 4130, Ti-6Al-4V ve AISI 4340 alaşımlarıdır. 20CrMnTi, AISI 4130 ve AISI 4340 çeliklerinin kimyasal kompozisyonları Çizelge 1'de, Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 2'de ve çalışmamızda incelenen tüm malzemelerin mekanik özellikleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 1.** 20CrMnTi, AISI 4130 ve AISI 4340 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağ. % maks.) [9, 10].

	C	Cr	Mn	Mo	P	Si	S	Ni
20CrMnTi	0,2	0,92	0,58		0,012		0,014	
AISI 4130	0,3	0,8-1,1	0,5	0,2	<0,035	0,15-0,3	<0,04	
AISI 4340	0,4	0,8	0,7	0,25		0,3		1,85

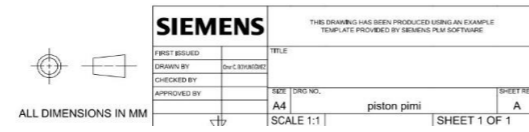
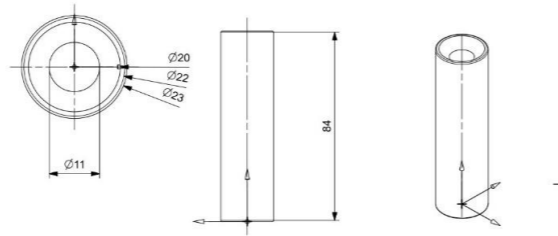
**Çizelge 2.** Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal kompozisyonu (ağ. % maks.) [11].

C	Fe	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Al	V	Ti
0,08	0,25	0,05	0,2	5,5-6,76	3,5-4,5	Kalan

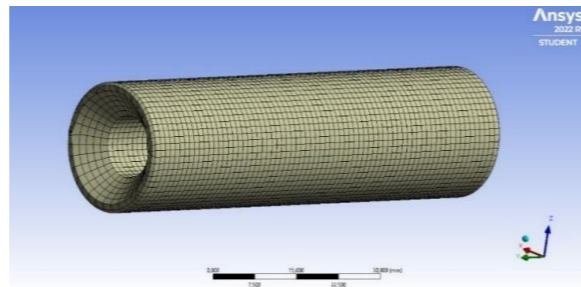
**Çizelge 3.** 20CrMnTi, Ti-6Al-4V, AISI 4130 ve AISI 4340 alaşımlarının mekanik özellikleri [10].

	AISI 4130	AISI 4340	Ti-6Al-4V	20CrMnTi
Yoğunluk (kg.m <sup>-3</sup> )	7850	7850	4430	7850
Tensile Strength-Yield (MPa)	435	470	880	540
Tensile Strength-Ultimate (MPa)	670	745	950	835
Poisson Ratio	0,29	0,29	0,33	0,29
Shear Modulus (GPa)	80	74	44	79
Bulk Modulus (GPa)	160	152	114	163
Modulus of Elasticity (GPa)	205	192	114	225,5

Analiz için öncelikle piston pimi ve montaj parçaları tasarımı ve katı model oluşturma işlemi Siemens NX 12.0 programında yapılmıştır. Şekil 6'da piston pimi teknik çizimi görülmektedir. Analiz için ANSYS 2022 R1 sürümü kullanılmıştır. Öncelikle ANSYS Workbench programında Static Structural modülü açılmıştır. Sırasıyla malzeme tanımlama, model tanımlama, test modelinde mesh yapısının oluşturulması, biyel kolunun piston pimiyile temas yüzeyinin sabitlenmesi, piston baş kısmına basıncın işlenmesi ve analiz sonucunda elde etmek istediğimiz verilerin seçilmesi işlemleri yapılmıştır. Şekil 7'de mesh yapısı oluşturulan piston pimi katı modeli görülmektedir. Piston baş kısmına uygulanan basınç değeri 5 MPa olarak belirlenmiştir. Tüm basamakların tamamlanmasının ardından programa çözüm komutu verilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 6.** Piston pimi teknik çizimi.



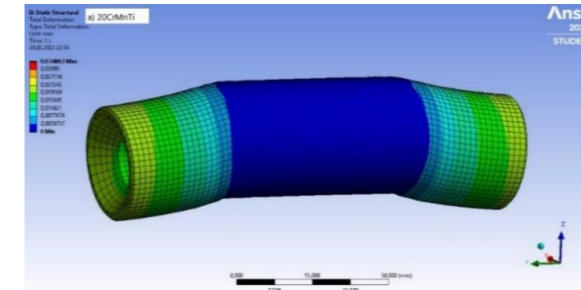
**Şekil 7.** Mesh yapısı oluşturulan piston pimi.

## 3. Bulgular ve Tartışma

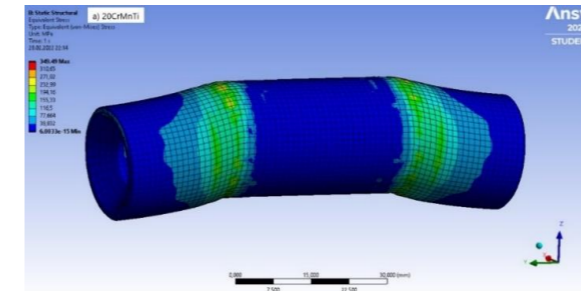
Yapılan analizler sonucunda dört farklı malzemeye ait piston piminin Equivalent (Von Mises) stress (Von Mises gerilmesi) ve Total Deformation (toplam deformasyon) verileri elde edilmiştir. Equivalent stress analizi malzemelerin analiz için uygulanan yükler altında gösterecekleri maksimum gerilme değerini vermektedir. Şekil 8, Şekil 10, Şekil 12 ve Şekil 14'te ANSYS programından elde edilen dört malzemeye ait toplam deformasyon değerleri görülmektedir. Deformasyon skalasındaki kırmızı bölüm maksimum deformasyon ve mavi bölüm de minimum deformasyon boyutunu göstermektedir. Deformasyonun yük yönünde ve piston pimine temas eden piston pim yuvası ekseninde olduğu görülmektedir. Çalışma koşullarında biyel kolunun bağlantı noktası pistondan aktarılan kuvvete ters yönde hareket edeceğinden piston pimi ve biyel kolu bağlantı alanı sabit tutulmuştur. ANSYS programından elde edilen Equivalent (von mises) Stress değerleri malzememizin akma dayanımı ile karşılaştırılarak dayanabileceği yükler konusunda bize bilgi vermiştir. Şekil 9, Şekil 11, Şekil 13 ve Şekil 15'te ANSYS programından elde edilen dört malzemeye ait Equivalent (von mises) Stress değerleri görülmektedir.

### 3.1. 20CrMnTi alaşımı

Yapılan analizler sonucunda 20CrMnTi alaşımının toplam deformasyon değeri Şekil 8'de görüldüğü gibi 0,0348 mm olarak bulunmuştur. Şekil 9'da görülen Equivalent (von mises) Stress değeri 20CrMnTi alaşımımız için 349,49 MPa olarak bulunmuştur. Alaşımımızın akma dayanımı (540 MPa) bulunan değerden yüksektir. Güvenlik Faktörü (Safety Factor) hesaplandığında 1,54 bulunmuştur. Güvenlik faktörü değerinin 1'den büyük olması nedeniyle parçamızın 20CrMnTi alaşımıyla imal edilmesi uygundur.



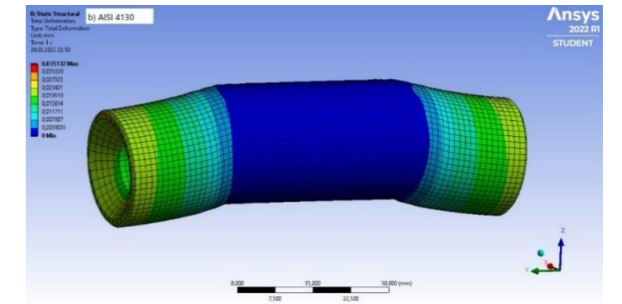
**Şekil 8.** 20CrMnTi alaşımına ait Total Deformation analizi.



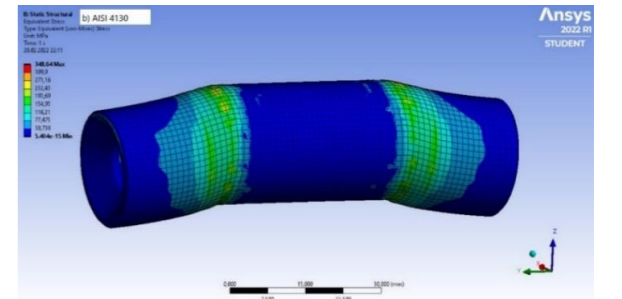
**Şekil 9.** 20CrMnTi alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

### 3.2. AISI 4130 alaşımı

AISI 4130 alaşımı tanımlanarak yapılan analizlerde toplam deformasyon değeri Şekil 10'da görüldüğü gibi 0,0351 mm olarak bulunmuştur. Alaşımımızın sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için Equivalent (von mises) Stress analizinden çıkacak maksimum değerimizin 435 MPa'dan küçük olması gerekmektedir. Analiz sonucumuzda Şekil 11'de görüldüğü gibi maksimum değerimiz 348,64 MPa çıkmıştır. Güvenlik Faktörü 1,25 olarak bulunmuştur. Bu durumda AISI 4130 çeliği de piston pimi imalatı için uygundur.



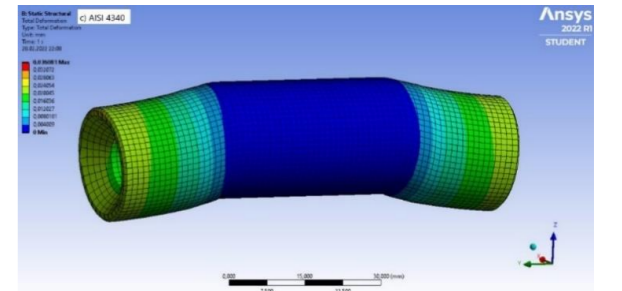
**Şekil 10.** AISI 4130 alaşımına ait Total Deformation analizi.



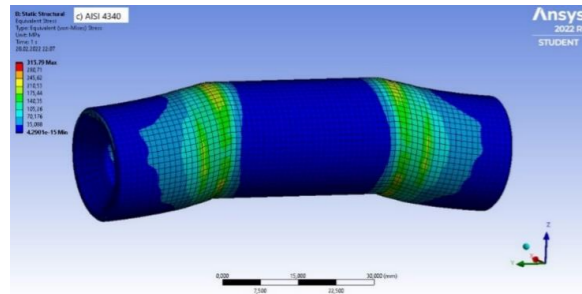
**Şekil 11.** AISI 4130 alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

### 3.3. AISI 4340 alaşımı

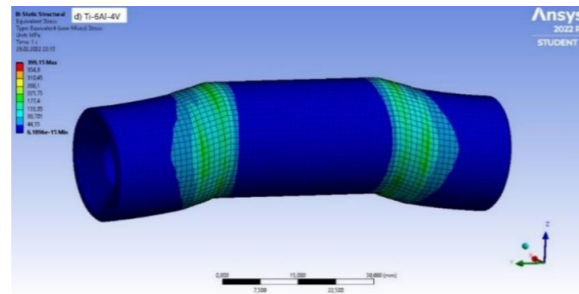
AISI 4340 çeliğinin analizi diğer çelik alaşımları ile benzer sonuçlar vermiştir ve toplam deformasyon değeri Şekil 12'de görüldüğü gibi 0,0360 mm olarak bulunmuştur. Yapılan bir diğer analiz olan Equivalent (von mises) Stress sonucu Şekil 13'te görüldüğü gibi maksimum 315,79 MPa bulunmuştur. Güvenlik Faktörü 1,48 olarak hesaplanmış ve 4340 çeliğinin piston pimi için uygun bir malzeme olduğu kanısına varılmıştır.



**Şekil 12.** AISI 4340 alaşımına ait Total Deformation analizi.



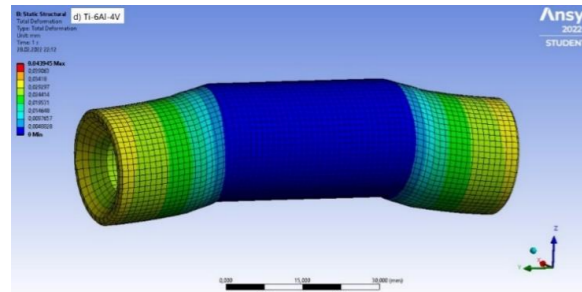
Şekil 13. AISI 4340 alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.



Şekil 15. Ti-6Al-4V alaşımına ait Equivalent (von mises) Stress analizi.

### 3.4. Ti-6Al-4V alaşımı

Ti-6Al-4V alaşımı çelik alaşımlarının yanında piston pimleri için kullanım imkânı sunan mekanik özelliklere sahiptir. Kullanımda çelik alaşımlarına karşı üstünlüğü düşük yoğunluğu sayesinde hafif olmasıdır. Ti-6Al-4V alaşımına ait toplam deformasyon değeri Şekil 14'te verilen analiz sonucuna bakılarak 0,0439 mm olduğu görülmektedir. Ti-6Al-4V alaşımının akma dayanımı 880 MPa'dır ve diğer çelik alaşımlarından çok daha yüksektir. Equivalent (von mises) Stress analizi sonucunda Şekil 15'de 399,15 MPa değeri bulunmuştur. Alaşımın akma dayanımıyla kıyaslandığında Ti-6Al-4V alaşımı bu yükü kolaylıkla deformasyona uğramadan karşılayabilecek kabiliyettedir. Güvenlik Faktörü de 2,20 bulunmuş ve bu değer çelik alaşımlarına kıyasla çok daha güvenli bir malzeme üretilebileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 14. Ti-6Al-4V alaşımına ait Total Deformation analizi.

Yapılan analizler sonucunda ele aldığımız tüm alaşımların motor içerisinde çalışma koşullarında maruz kalacakları kuvvetleri yeterli oranda taşıyabilecekleri görülmüştür. Çizelge 4'te 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımlarına ait analizler sonucu elde edilen toplam deformasyon ve Equivalent (von mises) Stress değerleri verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde çelik alaşımlarının titanyum alaşımına kıyasla daha düşük deformasyon oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Von Mises gerilim değerleri incelendiğinde ise tüm malzemelerin gerekli dayanımı sağlayabileceği gözlemlenmiştir fakat titanyum alaşımı çelik alaşımlarına kıyasla daha yüksek akma dayanımı göstererek uzun süreli kullanımda yorulma dayanımında da yüksek performans sergileyebileceği düşünülmektedir. Alaşımların Güvenlik Faktörleri kıyaslandığında tüm alaşımların gerekli değeri sağladığını fakat Ti-6Al-4V alaşımının çelik alaşımlarına kıyasla daha güvenli olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4. 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımlarına ait Toplam Deformasyon ve Equivalent (von mises) Stress analiz sonuçları.

	Toplam Deformasyon (mm)	Equivalent (von mises) Stress (MPa)
20CrMnTi	0,0348	349,49
AISI 4130	0,0351	348,64
AISI 4340	0,0360	315,79
Ti-6Al-4V	0,0439	339,15

Bohn [1] tarafından yapılan çalışmada AISI 4340 çeliği ele alınarak CRF250R model motosikletin Şekil 5'te verilen OEM tipi piston pimi tasarlanarak ANSYS programı ile analiz yapılmış ve Von Mises gerilimi 126,8 MPa olarak bulunmuştur. Güvenlik Faktörünün 3,71 bulunmasıyla 4340 alaşımlarının motosiklet motorlarında çok daha güvenli parçalar imal edilebilmesini desteklemektedir. Gerilim değerinin düşük bulunmasının nedeninin analizde ele alınan piston piminin motosiklete ait olması ve otomobillere

kıyasla daha düşük kuvvetlerin etkisi altında çalışıyor olmasıdır.

Gupta ve diğ. [12] tarafından yapılan çalışmada ANSYS programı kullanılarak EN36A alaşımının farklı piston pimi tasarımları yapılarak analizleri yapılmıştır. Piston pimi tasarımları hallow, stepped, step taper ve tapered şeklindedir. Analiz sonuçlarında elde edilen toplam deformasyon değerleri sırasıyla 0,0263; 0,0261; 0,0259 ve 0,0308'dir. Toplam deformasyon değerleri çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Analiz sonucunda bulunan Von Mises gerilimleri ise sırasıyla 195,04; 229,66; 166,01 ve 217,66'dır. Gerilim sonuçları piston pimi tasarımının aynı malzemede ne derece etkili olduğunu göstermektedir.

Komble ve diğ. [13] yaptığı çalışmada ANSYS programı kullanılarak 7 bar basınç altında piston pimi analiz edilmiştir. Analiz sonucu toplam deformasyon değeri 0,028 bulunmuştur. Toplam deformasyon değeri analizimizin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Von Mises gerilmesi analizi sonucunda maksimum gerilme değeri 404,44 MPa olarak bulunmuştur. Kullanılan malzemenin akma dayanımı 1000 MPa'dır. Güvenlik Faktörü hesaplandığında 2,47 çıkmaktadır ve bu değer analizde kullandığımız titanyum alaşımımızla yakındır.

Ramamoorthy ve diğ. [11] yaptığı çalışmada Ti-6Al-4V, Ti17 ve Al 4032 alaşımları tek bir tasarım üzerinden ANSYS programında 2000N kuvvet altında analiz edilmiştir. Ti-6Al-4V alaşımının Von Mises gerilmesi maksimum 512,15 MPa olarak bulunmuştur. Analizimizde aynı alaşımın Von Mises gerilmesini maksimum 399,15 MPa olarak bulmamızın nedeni daha düşük basınç değerinde analiz yapmamızdır. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

### 4. Sonuç

Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda elde edilen genel değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

- Piston pimleri motor içerisinde yanma sonucu ortaya çıkan kuvvetleri aktarma noktasında kritik öneme sahip parçalardır.
- Piston pimleri ani yüklere karşı uzun süre deformasyona uğramadan çalışabilmeleri için yüksek kesme dayanımına sahip olmalıdır.
- Analiz sonuçlarına göre; 20CrMnTi, AISI 4130, AISI 4340 ve Ti-6Al-4V alaşımları düşük deformasyon miktarı ve 1'den büyük güvenlik faktörüne sahip oldukları için piston pimi malzemesi olarak kullanılmaya uygundur.
- Ti-6Al-4V alaşımı çelik alaşımlarına kıyaslandığında; gerekli mukavemet değerlerini vermiştir. Düşük yoğunluğu sayesinde piston pimi malzemesi için hafiflik konusunda çelik alaşımlarına üstünlük sağlayabilecek niteliktedir.

### Referanslar

- [1] J. Bohn, Piston Pin Testing, Y. Lisans Tezi, Norwegian University of Science and Technology, 2016, Trondheim, Norveç.
- [2] S. Akdı ve H. Demirpolat, Farklı Malzemelerden Üretilen Otomotiv Parçalarının Teknik ve Ekonomik Karşılaştırılması, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology, 21-23 Haziran 2019, Kapadokya, Türkiye.
- [3] F. Fındık, S.C. Okumuş ve M. Çolak, Malzeme Seçimi ve Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 2016, Türkiye.
- [4] B. Ji, J. Li ve X. Chen, Research on piston pin's strength calculation based on FEA, In: Advanced Materials Research, Trans Tech Publications Ltd., 2012, 296-300.
- [5] F. Sedláček, V. Lašová, R. Kottner ve P. Bernardin, Comparison of Numerical Simulation and Experiment of A Flexible Composite Connecting Rod, 10th International DAAAM Baltic Conference, 12-13 Mayıs 2015, Tallinn, Estonya.
- [6] G. Shiv ve S.L. Ahirwar, Connecting Rod Analysis Using on Different Materials, International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 3 (2021) 330-336.
- [7] Y. Basavaraj, R. Joshi, G.R. Setty, M. Samiullah, M. Museb, M. Tayab ve H. Banu, FEA of NX-11 Unigraphics Modeled Connecting Rod Using Different Materials, Materials Today: Proceedings, 42 (2021) 2807-2813.
- [8] G. Gopala, L.S. Kumarb, K.V.B. Reddy, M.U.M. Raod ve G. Srinivasulu, Analysis of Piston, Connecting Rod and Crank Shaft Assembly, Materials Today: Proceedings, 4 (2017) 7810-7819.
- [9] L. Hongyong ve W. Hongying, Research of Engine Piston Pin Fatigue Analysis Based on UG, Advanced Materials Research, 383 (2012) 7312-7315.
- [10] <<http://www.matweb.com/index.aspx>> Tarih: 01.03.2022.
- [11] G. Ramamoorthy, M. Suriyakumar, K. Vidhyasagar, N. Vivek ve K. Satheshkumar, Performance Investigation of Gudgeon Pin to Enhance the Competence, International Journal for Scientific Research & Development, 5 (2017) 71-78.
- [12] S. Gupta, R. Saini, A. Kumar ve P. Shrivastava, Performance Analysis of Gudgeon Pin of Various Cross Sections by FEM, International Journal of Recent Technology and Engineering, 5 (2020) 4569-4573.
- [13] V.B. Kamble, K. S. Mangrulkar, M. D. Shah ve H.B. Kulkarni, Design and Analysis of Gudgeon Pin to Minimize Stress Concentration, International Journal of Recent Trends in Engineering & Research, 4 (2018) 76-83.

## Managing Quality Execution in the Industry 4.0

Endüstri 4.0 Çağında Akıllı Kalite Yönetimi



Helga EVERS, Sevda SAROVA

SMS Group - QuinLogic GmbH - Germany

### Abstract

In the past few decades, the continuous and regular monitoring of processing lines in the steel and other metals industries has collected huge amounts of quality data. Now is the time to take advantage of the investment in expensive and precise quality measuring equipment and to make better use of this data. QuinLogic's Smart Assistance with QES<sup>®</sup> makes this happen.

### 1. Introduction

If abnormal or deviating quality properties are found during the production process of a product (like a profile, bar, slab, coil, rail etc.), the operating personnel must take measures. These can consist of repairing, rerouting or, in the worst case, scrapping a product, which always entails additional effort and costs. In addition, a lot of time and effort is usually invested in determining the exact cause of the failure.

In most processing lines, quality assessment is still not an automated process. A lot of time and effort is invested in quality monitoring by human experts, and the total effort required and the quality of the monitoring are often depending on the skills and experience of the individual employees. In order to minimize the resulting fluctuations and deviations and their consequences in quality management and to reduce the effort required for quality assessment, QuinLogic's Quality Execution System (QES<sup>®</sup>) is already an important component in many companies of the steel and other metals industries. The automatic evaluation system for product quality uses extensive process, product and quality data - from level 1 to level 4 - which are centrally collected and processed in the Production Data Warehouse (PDW). The raw and aggregated data contained in the PDW, enormous potential if it is made available for immediate, continuous evaluation through its integration and then used in an automatic evaluation of the product quality.

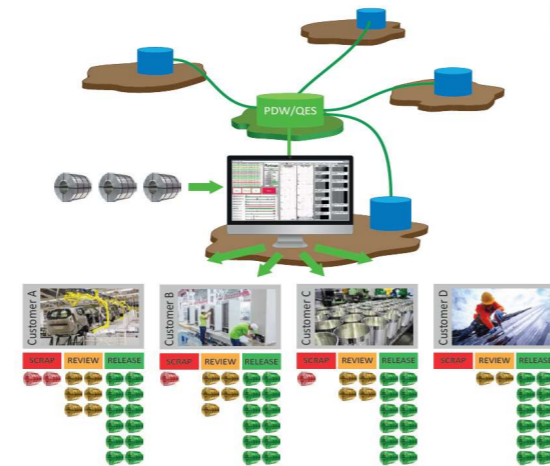
What makes the entire process even more advantageous is the additional option of analyzing data if necessary in order to identify further optimization potential. These help fine-tune the product rating. For example, a quality rule can be defined that allows a certain number of light scratches on a product to be accepted without subjecting it to an in-depth inspection or blocking it. However, if the system detects a critical accumulation of these scratches in a very small area,

it automatically recommends a further check or locks the product, depending on the density with which the scratches occur.

### 2. Smart Assistance with QES<sup>®</sup>

One of the future goals of Industry 4.0 is the Smart Factory, in which the networking of embedded production systems and dynamic business and engineering processes enables the profitable manufacture of products even with individual customer requirements up to batch size 1. The technical basis are cyber-physical systems, which means both physical production objects and their virtual image in a centralized system (digital twin). But the product itself can also be understood in terms of a cyber-physical system. By transferring its complete process and quality history to its digital twin in the Quality Execution System, it always brings its production history with it.

Thanks to the extensive functional modules of QES, not only can quality and process data be visualized and analyzed in any context, but smart processing and decision support processes can also be modeled with it.

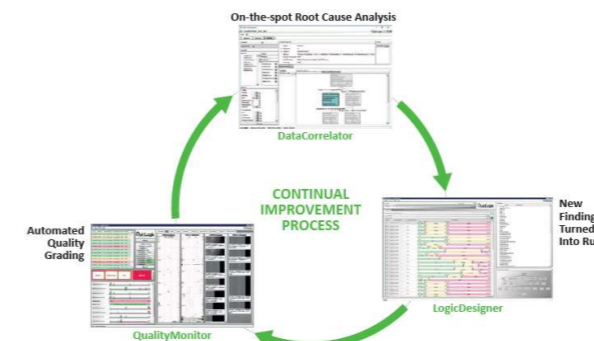


**Figure 1:** Product releasing support for quality managers based on the automated grading by the QES<sup>®</sup> and customer specific rule sets that are automatically applied to the respective products

For example, a decision workflow for the approval of products can be set up, in which an automated approval recommendation is initially given based on process and quality data of the current process stage and the entire upstream process. With conservative rule setting, the decision that a product can be released is already so certain that the quality experts can concentrate on examining products that have not been released initially. This frees them from routine tasks and allows them to spend more time evaluating and analyzing products with identified abnormalities.

If necessary, the quality expert can change the automatically generated approval recommendation and comment appropriately. The personalized overriding generated in this way is permanently logged and can be traced at any time.

The quality experts will not only be helped by the analysis results of the original assessment, but additional data can be visualized in individually designed screens. In addition, critical or questionable products that have been identified by the QES<sup>®</sup> in this way, can be examined in detail with the QES<sup>®</sup> tools for data analysis, such as the **DataCorrelator**, and checked for relationships with process parameters. New evaluation rules resulting from this can simply be incorporated into the rules for product approval and thus refine the accuracy of the decision. Experience from numerous QES<sup>®</sup> projects has shown that this increases the overall rate of approved products and improves process quality in the long term.



**Figure 2:** Based on the recognition of products for review or blocking, an on-the-spot root cause analysis can reveal new correlations between process and quality data that can then be turned into refined or new product grading rules

### 2.1 Automated Quality Monitoring

The vision of the Quality Execution System is to bring together and evaluate hidden data, i.e. data that was previously not usable for a comprehensive quality evaluation, in order to continuously improve the automatic evaluation of product quality. The data is searched for previously invisible correlations using classification

algorithms. Relevant relationships are represented in relational trees, which are then converted into new rules. If these rules are then implemented, they immediately help to predict and identify errors and defects, and that at an early stage of the processing process.

### 2.2. Genealogy

The data integration in the Production Data Warehouse gives the user the opportunity for the first time to actually connect all data available company-wide. With very large volumes of data, however, problem analysis can quickly become a challenge and the genealogy concept is of great advantage here. For this purpose, as complete a record as possible of every processing step of a product is stored and managed in the system. The development of each individual product is traced back to its origin, its digital twin is created and continuously updated along the process chain. This means that ultimately a complete tracking of the raw material that was used for the production of a product is saved and managed in the system via the individual processes that each section of a daughter product, possibly assembled from parts of different mother products, has gone through. This also includes the records of all intermediate processes that a product goes through, which in the event of a quality problem enables a quick and precise cause analysis in the first place.

### 2.3. Correlating Data and Feedback

Based on the genealogy of a product, analysis methods can be used to track down behavioral patterns and to find correlations with regard to the original material and the processing processes of products of the same quality. The results of such correlations can help to identify trends in measured parameter values that were, for example, within given tolerance limits, but nevertheless impaired the quality of the products at a later point in time. Once such behavior is made descriptively or visually available, it is very easy to fix the problem by adapting an existing rule with excessively high tolerances or by introducing new rules. The results of the correlation analysis are designed in such a way that appropriate rules are suggested directly, which can then be easily adopted. Ultimately, this means that users no longer have to spend a lot of time and thought to derive new evaluation rules and feed into the QES rule system - they can simply accept the suggestion.

### 2.4. Quality Improvement

The correlation and feedback system works with past and continuously incoming data in order to find out how the quality of already approved products can be continuously improved. Proactive quality monitoring allows deviations in the process lines to be detected and corrected before they can impair the quality of a product at a later point in time.



### 3. Conclusion

In Conclusion, QuinLogic's QES® enables to manage Quality Execution System with it's smart assistance. It has become a well-established standard. Through its introduction, processing effort by quality experts has been demonstrably reduced, while the product grading / release itself has become more reliable and objectifiable. By integrating data in the Production Data Warehouse, all data is easily accessible and comparable. By organizing this integrated data on the basis of its entire life cycle (genealogy), this large volume of data can be wisely accessed through analysis. Correlating data using powerful algorithms helps to spot common behaviors and trends in the production process and to identify the root causes of problems that can lead to a defective product. The goal here is not only to avoid delivery of one or more bad products to the customer, but more importantly to ensure that such defects do not occur at all by making certain that conditions leading up to defective production are identified and eliminated.

## CASTEMP Tandış Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Sürekli Döküm Makinesi Proses Dizaynı

Process Desing of Continuous Casting Machine with CASTEMP Tundish Continuous Temperature Measurement System



**Emrecan ZORBA<sup>1</sup>, Oğuz Han SAKARYA<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>1</sup>, Baran DOĞAN<sup>2</sup>, Ziya ÖĞÜTCÜ<sup>2</sup>, İsa KESKİN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik,<sup>2</sup> Heraeus Electro-Nite Termoteknik - Türkiye

### Abstract

In iron and steel plants, which is an energy-intensive sector, it is of great importance to increase sustainable production and optimize the amount of energy use, especially in this period of global raw material and energy crisis. For this reason, temperature control is one of the most important parameters in the tundish, which provides the transfer of liquid steel from the ladle to the molds in the steel production process. The high temperature of the liquid steel in the tundish causes defects in the final product, crack formation and so breakouts during the continuous casting operation increasing the amount of waste product.

In this project with Heraeus Electro-Nite, it is aimed to reduce breakouts during the continuous casting operation by keeping the liquid steel temperature in tundish under control using a continuous measurement system, to increase the efficiency of the casting machine with higher casting speeds, the surface quality of the billet and at the same time the internal quality of the steel.

### Özet

Enerji kullanımı yoğun bir sektör olan demir - çelik tesislerinde, özellikle küresel hammadde ve enerji krizinin olduğu şu dönemde, sürdürülebilir üretimi arttırmak ve enerji kullanım miktarını optimize etmek ciddi önem arz etmektedir. Bu nedenle çelik üretim prosesinde sıvı çeliğin döküm potasından kalıplara transferini sağlayan tandışte, sıcaklık kontrolü en önemli parametrelerden biridir. Tandışte sıvı çelik sıcaklığının yüksek olması, nihai ürün kusurlarına, çatlak oluşumuna ve sürekli döküm operasyonu boyunca yol kanamalarına sebebiyet vererek hatalı ürün miktarını arttırmaktadır.

Heraeus Electro-Nite ile bu projede, sürekli döküm operasyonu boyunca tandışte sıvı çelik sıcaklığının sürekli ölçüm sistemi kullanılarak kontrol altında tutulması ile yol patlamalarının azaltılması, daha yüksek döküm hızlarıyla

döküm makinasının veriminin artırılması, kütüğü yüzey kalitesi ve aynı zamanda çeliğin iç kalitesinin artırılması amaçlanmıştır.

### 1. Giriş

Dünya genelinde çelik üretiminin büyük bir kısmı sürekli döküm prosesi ile gerçekleşmektedir. Tandış içindeki sıvı çelik sıcaklığını kontrol altında tutmak bu proses için en önemli noktalardan biridir.

Ergimiş haldeki sıvı çeliğin kaliteli yarı mamule dönüştürülmesi yeterli süper ısının sağlanması ve tandışten kalıba aktarılan sıvı çeliğin dengeli katılaşması ile mümkün olabilmektedir. Süper ısı kontrolü önemli bir parametre olmakla birlikte tandış içindeki sıvı çeliğin donma riskini en aza indirgemektedir.

Bilecik Demir Çelik, CasTemp Sürekli Sıcaklık Ölçer sistemini devreye almadan önce sıcaklık ölçüm ve kontrolünü operatör tarafından kullanılan "termokupl" ile sağlamaktaydı. Bu yöntem ile tandışte sıvı çelik sıcaklığının anlık takibi yapılamamakta ayrıca operatör tarafından kullanılması ile işgücü kaybı yaşatmakta ve sarf malzeme israfı olarak değerlendirilebilmektedir. Sistem tarafından üretilen veriler 15 saniyede bir CasTemp cihaz ekranına yansımaktadır.

Yapılan bu proje ile Heraeus Electro-Nite, tandış prosesinde sıvı çelik sıcaklığının sürekli ölçüm sistemi kullanarak sıvı çelik sıcaklığı kontrol altında tutulup yol patlamalarının azaltılmasına, sıcaklık ve döküm hızıyla bağlantılı olarak daha yüksek döküm hızı sebebiyle döküm makinesinin veriminin artırılmasına, dökülen malzemenin yüzey kalitesinin aynı zamanda çeliğin iç kalitesinin artırılması ve pota geliş sıcaklıklarının azaltılması amaçlanmaktadır.

### 2. SDM Prosesi

İkincil metalürji istasyonu olan pota ocağında sıvı çeliğin kimyasal analizi ve sıcaklık gibi proseslerinin tamamlanmasından sonra pota, SDM de proses dizaynına

göre yarı mamul şekline dönüştürülmektedir. Sürekli Döküm yöntemi yüksek verimliliği, ucuzluğu ve kısa sürede yarı ürünün elde edilmesinden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilecik Demir Çelik fabrikası 6 tonluk tandiş ve 3 yollu SDM'ye sahiptir. [1]

### 2.1. Proses sürecini etkileyen olaylar

Kütük yüzey kalitesi haddeleme sonrasında nihai mamul kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla kütük kalitesi üretim sürecinde kontrol altında tutulmalıdır. Kusurların oluşum mekanizması iyi bilinirse gerekli tedbirler alınarak kusurların oluşumu önenebilir.

Sürekli Döküm Makinesi'nde (1) kalıpta eşit/homojen olmayan birincil soğutma, (2) sıvı çeliğin türbülanslı akışı ve kalıpta menisküs seviyesinin ani değişkenliği (seviye kontrol), (3) homojen olmayan, yetersiz veya çok yoğun ikincil soğutma, (4) kalıp uzunluğu boyunca iletkenlik katsayısı eşit olmayan, kaplama kalınlığı farklı, termal değişkenliği yüksek ve ileri derecede aşınmış kalıp (kalıp deformasyonu), kalıp taperi (koniklik) (v) aşırı yüksek ısıya sahip sıvı çelik dökümü, (5) yüksek döküm hızı ve (6) uygun olmayan özelliklere sahip döküm tozunun kullanılması ve yetersiz yağlama, (7) yüksek miktarda P, S, Pb ve Cu, (8) makina kalibrasyonun bozulması, (9) Çekme - doğrultma gerilmeleri, (10) düzensiz osilasyon, (11) ferrostatik basınca karşı yeterince dirençli olmayan kabuğun şişmesi, (12)  $3 > Mn/Si$  oranı, gibi durumlar sonucunda yarı mamul de kusurlar görülebilmektedir.

Özellikle enine çatlaklar, osilasyon izleri, gaz boşlukları, makro enklüzyonlar çelik üretim sürecinde sıklıkla karşılaşılabilen olaylardır. Tandış içindeki sıvı çelik sıcaklığının kontrol altında olmaması bu tarz olaylara sebebiyet verebilmektedir. Yüksek döküm sıcaklığı enine çatlaklara neden olmakla beraber bu olay haddeleme de büyük sorunlara yol açabilmektedir. Çatlak kütükler kusurlu ürün olacağından dolayı ıskartaya ayrılmaktadır.

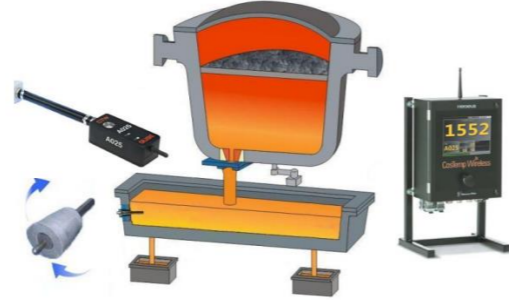
Gaz çözünürlükleri sıcaklığın bir fonksiyonudur. Tandış içindeki sıvı çelik sıcaklığının çok yüksek olması gaz boşluğunu tetiklemektedir. Döküm hızının frekansa uygun olmamasından kaynaklı osilasyon izleri görmek ise kaçınılmazdır. Aslında tüm olayların ana merkezi sıcaklık kontrolünden geçmektedir. Uygun döküm sıcaklığı, döküm hızı-frekans, sıvı çelik sıcaklığı-yeterli soğutma ile homojen katılma sağlamak döküm makinesinde birincil hedeflerden biridir.

### 3. Teknoloji

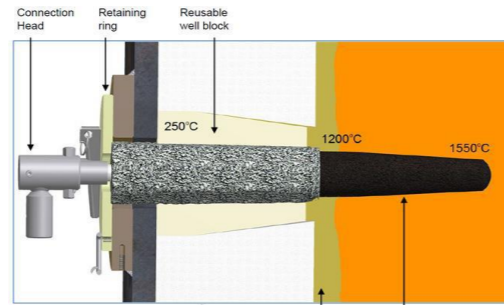
#### 3.1 CasTemp sürekli sıcaklık ölçer sistemi

CasTemp sensöründeki B tipi termokupl, analog bir DC milivolt sinyali üretir. Üretilen bu mV değeri, kablosuz CasTemp cihazı tarafından dijital bir sıcaklık değerine

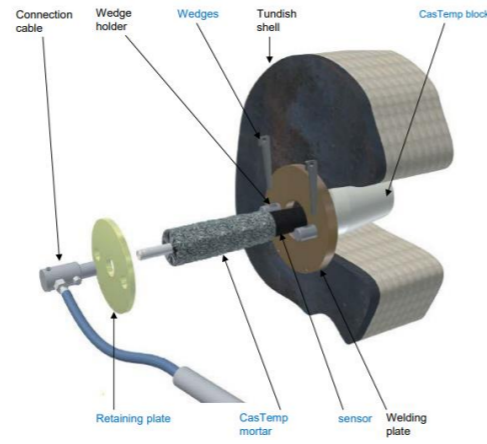
dönüştürülür ve kablosuz olarak bir alıcı istasyonuna iletilir. Alıcı birim, önemli sistem durumu verileriyle birlikte ölçülen sıcaklık değerini görüntüler. Heraeus Electro-Nite Mühendislik ekibinin tasarladığı özel CasTemp sensörü tandış üzerine monte edilmiştir. [2]



Şekil 1. CasTemp Sisteme genel bakış



Şekil 2. CasTemp duvar sıcaklık sensörü



Şekil 3. CasTemp sisteminin çeşitli bölümleri

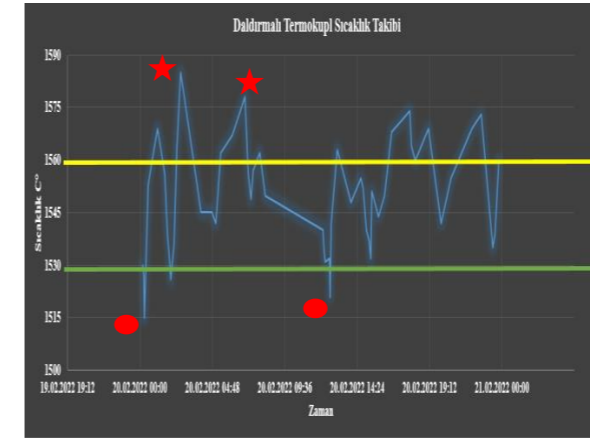
### 3.2 Sürekli sıcaklık ölçer çıktıları

CasTemp 15 saniyede bir vermiş olduğu sonuçlarla tandış içi sıcaklığı anlık olarak gösteren bir sistemdir. Bu özellikli döküm operatörüne anlık döküm sıcaklığını vererek tandış - sıvı çelik donmasının ve aşırı sıvı çelik sıcaklığının önüne geçmesini sağlamaktadır. SDM de operatör tarafından manuel olarak sıcaklık ölçmek işgücü kaybına neden olmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için ekstra sarf malzemesi harcadığı unutulmamalıdır.

CasTemp sürekli sıcaklık ölçer sistemi ile döküm operatörü anlık çalışma sıcaklığını görerek hızlı aksiyon almasını sağlayabilmektedir. Örneğin herhangi bir potanın sürekli döküm makinesine beklenenden daha soğuk gelmesi sonucu tandış içindeki sıvı çelik sıcaklığının hızlıca düşmesi ile CasTemp cihazında bu sıcaklık gradyanının eğilimini farkeden operatör kararlılıkla potayı kapatıp tandış donmasının önüne geçebilmektedir.

Bir başka örnekte ise döküm operatörü pota ocağından gelen dökümün sıcaklığını anlık tandış sıcaklık durumuna göre istemesi sonucu pota ocağında sıvı çeliğin ısınması için harcanan enerjinin daha az kullanıldığı saptanmıştır.

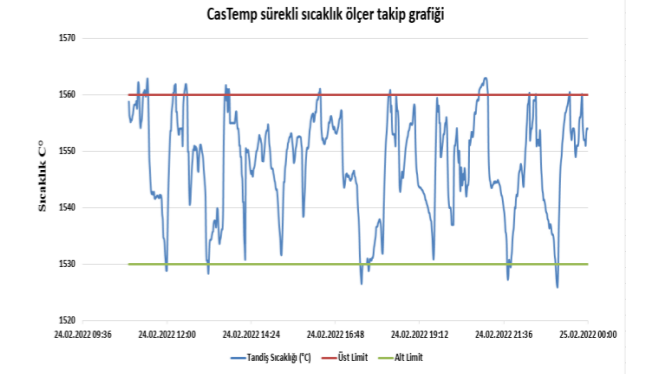
### 4. Deneysel Çalışmalar



Şekil 4. Bilecik Demir Çelik Skada Takip Sistemi

Bilecik Demir Çelik fabrikasında bulunan skada takip sistemine bağlı tandış sıcaklık izleme sistemi Şekil 4'de belirtilmiştir. Bu çalışmada daldırma termokupl ile alınan sıcaklıklar bulunmaktadır. Çalışma boyunca operatör belirli aralıklarla sıcaklık ölçüsü almıştır. Üst limit 1560 derece alt limit 1530 derece olarak belirlenmiştir. Grafikten de anlaşıldığı üzere çoğunlukla üst limit çizgisinin üzerindeki sıcaklıklar da çalışılmıştır. Yıldız ile belirtilen kısımlar da yüksek sıcaklıktan dolayı yol patlaması yaşanmıştır. Bu olayın başlıca kaynaklarından biri operatörün tandış sıvı çelik sıcaklığını anlık olarak takip edememesi ve pota

ocağından gelen dökümün tandış sıvı çelik sıcaklığı için uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Daire ile belirtilen kısımlar da tandış sıvı çelik sıcaklığı ani bir düşüş yaşamıştır. Tandış donmasının önüne geçmek için operatör potayı kapatıp bindirmeye gelen diğer dökümün sıcaklığı ile tandışı donmaktan kurtarmıştır. Bu olay sonucunda 2 yol da ek yapılmış olup, 4 ton yarı ürün mamul geri dönüşüm olarak ayrılmıştır.



Şekil 5. CasTemp Sürekli Sıcaklık Ölçer Sistemi

Bilecik Demir Çelik ve Heraeus Electro-Nite ortaklığında devreye alınan CasTemp Sürekli Sıcaklık Ölçer sistemi kombine trend analizi yapılarak 2 vardiya boyunca takip edilmiştir. Üst limit 1560 derece alt limit 1530 derece olarak belirlenmiş olup döküm sıcaklık aralıkları şekil 5'de belirtilmiştir.

Bu süre boyunca SDM de herhangi bir yol patlaması yaşanmamıştır. Hazırlanan tüm dökümler zamanında bindirmeye yetiştirilmiştir, yol tapalanmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Şekil 5'de dip noktalar olarak varsaydığımız tandış sıvı çelik sıcaklığı 1525-1530 derecedeyken yeni bir döküme başlanmıştır bu sırada tandış sıvı çelik sıcaklığında düşüş yaşanmıştır.

Makine yol hızlarında ortalama %10'luk artış olmuş, bu artışa bağlı olarak çelikhane günlük üretim miktarın da %8'lik bir iyileşme meydana gelmiştir. SDM operatörü manuel olarak sıcaklık alma gereksinimi ortadan kalkmıştır. CasTemp sürekli sıcaklık ölçer sistemi 15 saniye de bir operatöre tandış içi sıvı çelik sıcaklığı bilgisini vermiştir.

### 5.Sonuç

SDM de tandış sıcaklığı en önemli parametrelerden biridir. Yüksek ve düşük sıcaklıkta çalışmak bazı sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Tandış sıvı çelik sıcaklığı limit aralık değerlerinde olduğu sürece döküm makinesi operatörü tandış seviyesinde tam kapasiteye ulaşarak makine yol hızlarını da arttırmıştır. Ayrıca tandış seviyesinin tam

kapasite çalışması tandiş refrakter aşınmasının da azalttığı saptanmıştır.

Tandişe oksijen müdahalesi istenmeyen bir durum olmakla beraber tandiş sıcaklığı kontrolü ile bu durum kontrol altına alınarak tandişe oksijen verme olayını ortadan kaldırmıştır.

SDM'de tandiş içindeki sıvı çelik sıcaklığını ölçmek için kullanılan ve sarf malzemeler sınıfında yer alan daldırmalı termokupl, CasTemp sürekli sıcaklık ölçer sisteminin devreye girmesinden itibaren kullanımında azalma gerçekleştiğinden dolayı bu sarfiyat engellenmiştir.

Ayrıca CasTemp kombine trend analizi yöntemiyle vardiyalar arasındaki SDM de gerçekleşen olay sıklık analizlerine göre performans kriter değerleri belirlenmiştir. Sürekli döküm operatörü CasTemp sisteminden gelen anlık veriler ile sürece yaptığı müdahalelerin sonuçlarını hızlı görebilmekte ve tandiş içerisindeki sıvı çelik sıcaklığını istenilen hedefte tutabilmektedir.

3 yollu döküm makinesinde toplamda ortalama yol hızı 6,5-7,0 m/dk iken 7-7,5 m/dk seviyelerine çıkmıştır. Bu sonuç ile dinamik sıcaklık takibinin yapılarak dökümlerin daha kısa sürede yarı mamul formuna dönüşmesini ve makine verimliliğinin arttırmasını sağlamıştır.

Tandişdeki yüksek sıvı çelik sıcaklığına bağlı olarak kalıp içinde meydana gelen yetersiz katılaşma ile yol patlaması meydana gelmektedir. Kabuk oluşumunun zayıf olması nedeniyle iç basıncın dış basıncı yenerek sıvı çeliğin tamamen boşalması nedeniyle döküme devam edilemez. Kalıptaki seviye aniden düşer ve yol kaybedilir. Bu sistem sayesinde yol patlamalarında %50 oranında azalma meydana gelmiştir.

Dökülen malzemenin yüzey kalitesi ve aynı zamanda çeliğin iç kalitesinin artırılması sağlanmıştır. Ekli kütük (%5), çatlak kütük (%10), yarık kütük (%25), cürufllu kütük (%20) oranında azalma meydana gelmiştir.

Günümüz teknolojisinde gelişen büyük veri, yapay zeka ve modellerin üretim proseslerine de etkisi artmaktadır. Bu bağlamda CasTemp sistemi kullanılarak veri sıklığı artırılan tandiş döküm sürecine bağlı olarak pota ocağı çıkış sıcaklıklarının da modellenmesi bir sonraki hedef olarak belirlenmiştir.

## 6. Teşekkür

CasTemp sürekli sıcaklık ölçer sisteminin devreye alınmasında emeği geçen Bilecik Demir Çelik ve Heraeus Electro-Nite çalışanlarına teşekkür ederiz.

## Referanslar

[1] Sürekli Döküm Makinesi (SDM) Eğitim Notları, İzmir Demir Çelik Sanayi A.Ş.

[2] J. Pischak, A. England ve S.Walker, Process Improvements at a Continuous Caster Using CasTemp SuperHeat, (2-3)

## Prediction of Slag Melting Temperature in Erdemir Blast Furnace Process

Erdemir Yüksek Fırınlarında Cüruf Ergime Sıcaklığının Tahminlenmesi



**Can ÖDEN, Zafer ÇETİN, Koray OKTAY, Kemal YÜCE, Taylan ÖZKÖK**

Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye

### Abstract

In this study, thermodynamic modeling with FactSage 7.3 software and data analysis with Minitab 18 statistical analysis software were performed for creating the prediction model of the blast furnace slag melting temperature at Ereğli Iron and Steel Works, Co.

The minimum and maximum points of CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and FeO contents, which are the 5 main components in the blast furnace slag, were determined and mixture experiment design is created with 156 different slag analyses. Slag melting points of the mentioned analyses were calculated via FactSage 7.3 software and these values were used as input data for Minitab 18 data analysis. As a result, a model was developed with r-square of 92,37%. The model has been integrated into the process automation systems allowing continuous tracking of the slag melting temperature.

### Özet

Bu çalışmada, Erdemir Yüksek Fırınları'nda cüruf ergime sıcaklığının tahminlenmesine yönelik FactSage 7.3 termodinamik hesaplama yazılımıyla modellemeler ve Minitab 18 istatistiksel analiz yazılımıyla veri analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yüksek fırın cürufundaki 5 ana bileşen olan CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO ve FeO içeriklerinin minimum ve maksimum noktaları belirlenerek 156 adet analiz içeren Mixture Deney Tasarımı oluşturulmuştur. İlgili analizlere ait cüruf ergime sıcaklıkları FactSage 7.3 yazılımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen değerler ile yapılan veri analizleri sonucunda 92,37% R<sup>2</sup> oranına sahip model geliştirilmiştir. Model, proses otomasyon sistemine adapte edilerek cüruf ergime sıcaklığı sürekli takip edilebilir hale getirilmiştir.

### 1. Introduction

Flat products are mainly produced at blast furnace process, while long products are manufactured by electric arc steelmaking process. Coke and coal are used for main fuel sources, sinter, pellet and lump ore are used for iron bearing component, at the end of process electric energy is used to melt scrap. Nowadays, electric arc furnace is able to produce flat products as well. Nevertheless, the blast furnace process is the primary source for worldwide steel production that totally %75 percentage of the steel is produced at blast furnaces [1].

In the blast furnace process, the metallurgical coke reacts with the oxygen within the hot blast blown through the tuyeres, and CO gas occurs as a result of this reaction. Iron oxides present in the iron-bearing raw materials are reduced by CO gas and liquid crude iron is produced. The other oxides, which are not reduced in the process form liquid slag [2].

Molten iron and liquid slag accumulating in the hearth of the blast furnace are drawn from the furnace through the iron runner. Molten iron is loaded in torpedo cars and sent to the BOF shop. Slag is separated from the liquid iron due to its lower density. Separated slag is granulated and sent to the cement plant as a raw material [2].

The course of primary and bosh slag formation is itself affected by operating and other conditions, namely, flame temperature, distribution of materials at the top, ore reducibility, burden yield, sinter and pellets, softening temperatures of the ferrous charge, coke ash content, furnace lines etc. When all the operating conditions are conducive to a smooth and regular furnace movement, the use of a slag of optimum composition may result in a maximum production and minimum of slag bulk, metal-sulphur and fuel costs [3].

Liquidus temperature (T<sub>liq</sub>) is one of the most important thermophysical properties of BF slag, yet it is also one of the most difficult for accurate and convenient calculation. It is well known that T<sub>liq</sub> shows a much more complex

dependence on composition than most other properties, e.g. viscosity and density [4].

It is crucial to ascertain the limitations of the basicity on slag properties. We are aware that the viscosity decreases with increasing basicity while, on the other hand, the melting temperature of the slag increases with increasing lime content. Therefore, the permissible slag basicity is limited by the provision of adequate fluid properties of the slag at the hearth temperatures. The liquidus temperature of the hearth slag should be below the desired minimum slag temperature because the appearance of any crystalline phase may result in a sharp increase in viscosity if the slag temperature is close to the liquidus temperature [3].

The liquidus temperature of slag is not sensitive to MgO concentration at high CaO/SiO<sub>2</sub> ratio. At lower CaO/SiO<sub>2</sub> ratio, lowering MgO concentration in the slag can even decrease the liquidus temperature [5].

The liquidus temperatures have been accurately determined in the primary phase fields of melilite, dicalcium silicate, spinel, merwinite and monoxide to characterize the FeO containing blast furnace slags. Presence of FeO in the slag can generally decrease the liquidus temperatures [6].

It can be seen that Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> has strong influence in liquidus temperatures in all primary phase fields present in the composition range investigated. In the melilite and spinel primary phase fields the liquidus temperatures increase significantly with increasing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentration. In contrast, the liquidus temperatures in the dicalcium silicate and merwinite primary phase fields decrease significantly with increasing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentration [7].

Recent data obtained from measurements of temperatures of flushing slags, roughing slags and that of iron show that while the liquidus temperatures of both the former are the same, the actual temperatures of the flushing slags are about 100°C higher than the roughing ones and the temperatures of roughing slags about 10°C higher than those of iron (about 1435°C). On an average, the temperature of the flushing slag is about 1500°C. To avoid the appearance of crystalline phases, it is essential that the liquidus temperature of the slag lies below the mean roughing slag temperature, i.e., below about 1445°C, so that there is a reasonable assurance that in most cases the temperatures of the slags inside the furnace would be well above the liquidus temperature [8].

## 2. Experimental

First of all, the minimum and maximum value of five main components of the blast furnace slag were determined for Erdemir plant. These are CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and FeO. In addition, the effect of TiO<sub>2</sub> on slag liquidus point was

investigated via FactSage 7.3 thermodynamic calculation software.

Design of experiment (DOE) was created by Minitab 18 statistical analysis software with using the minimum and maximum point of blast furnace slag. As a result of the mixture design, 156 different slag combinations were obtained.

The created slag compositions were used as an input for thermodynamic analysis. For all of combinations, liquidus points were calculated by FactSage 7.3.

Liquidus point values of acquired in consequence of thermodynamic analysis were run in Minitab 18 statistical analysis software to create mathematical model.

## 3. Results

In the result of data analysis, the minimum and maximum value of CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and FeO components were determined and specified in Table 1. While determining these points, the blast furnace chilled slag chemical analysis of the last two years was considered.

**Table 1.** The minimum and maximum value of five main components

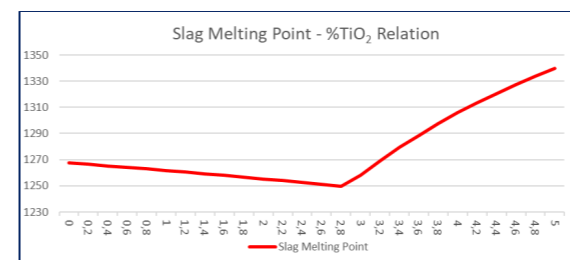
Components	Minimum %	Maximum %
MgO	2	10
CaO	25	45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	20
SiO <sub>2</sub>	30	45
FeO	0,1	8

In order to determine the effect of TiO<sub>2</sub> on the slag liquidus temperature, 0-5% TiO<sub>2</sub> addition in a typical blast furnace slag specified in Table 2 was investigated by FactSage 7.3.

**Table 1.** Typical BF slag analysis

Components	%
CaO	42
SiO <sub>2</sub>	40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13
MgO	5
B1	1,1
B2	0,9

As shown in Figure 1, TiO<sub>2</sub> has no crucial effect on liquidus point up to 3%. When the historical data is examined, it has been determined that it is always below 3% under normal conditions. From this point of view, TiO<sub>2</sub> values were neglected.



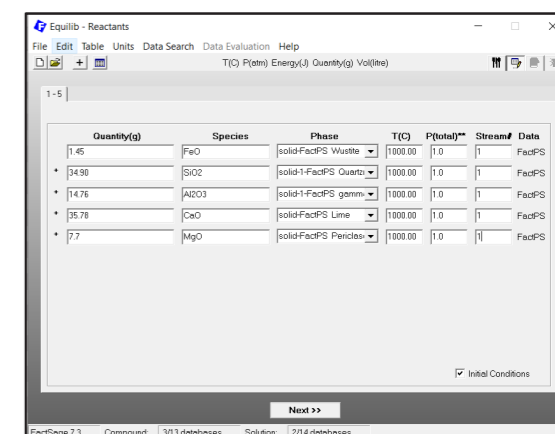
**Figure 1.** Slag liquidus point - %TiO<sub>2</sub>

With using the minimum and maximum point of blast furnace slag, design of experiment was constituted and 156 different slag combinations were obtained. 30 of them is shown in Figure 2.

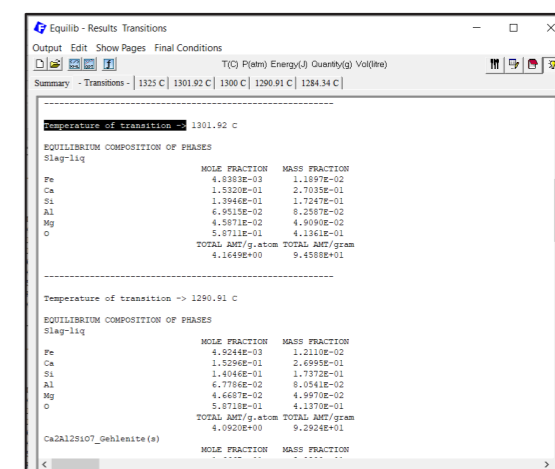
These 156 slag compositions were analyzed thermodynamically and liquidus points were calculated by FactSage 7.3. Screenshots of the data input and calculation result in the FactSage 7.3 software are given in Figure 3 and Figure 4, respectively. Chemical composition of the input slag is 1.45% FeO, 34.90% SiO<sub>2</sub>, 14.76% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 35.78% CaO, 7.7% MgO and liquidus point was calculated as 1301.92°C.

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
1	1	1	1	1	8,00000	30,00000	8,00000	44,00000	10,00000
2	2	2	1	1	8,00000	30,00000	20,00000	40,00000	2,00000
3	3	3	1	1	0,10000	30,00000	20,00000	39,90000	10,00000
4	4	4	1	1	8,00000	30,00000	20,00000	32,00000	10,00000
5	5	5	1	1	0,10000	47,00000	8,00000	42,90000	2,00000
6	6	6	1	1	8,00000	47,00000	8,00000	35,00000	2,00000
7	7	7	1	1	0,10000	47,00000	8,00000	34,90000	10,00000
8	8	8	1	1	8,00000	47,00000	8,00000	27,00000	10,00000
9	9	9	1	1	0,10000	47,00000	20,00000	30,90000	2,00000
10	10	10	1	1	0,10000	44,90000	8,00000	45,00000	2,00000
11	11	11	1	1	8,00000	30,00000	8,00000	45,00000	9,00000
12	12	12	1	1	8,00000	30,00000	15,00000	45,00000	2,00000
13	13	13	1	1	8,00000	37,00000	8,00000	45,00000	2,00000
14	14	14	1	1	7,00000	30,00000	8,00000	45,00000	10,00000
15	15	15	1	1	0,10000	30,00000	14,90000	45,00000	10,00000
16	16	16	1	1	0,10000	36,90000	8,00000	45,00000	10,00000
17	17	17	1	1	3,00000	30,00000	20,00000	45,00000	2,00000
18	18	18	1	1	0,10000	30,00000	20,00000	45,00000	4,90000
19	19	19	1	1	0,10000	32,90000	20,00000	45,00000	2,00000
20	20	20	1	1	6,00000	47,00000	20,00000	25,00000	2,00000
21	21	21	1	1	8,00000	47,00000	18,00000	25,00000	2,00000
22	22	22	1	1	8,00000	45,00000	20,00000	25,00000	2,00000
23	23	23	1	1	0,10000	47,00000	20,00000	25,00000	7,90000
24	24	24	1	1	0,10000	47,00000	17,90000	25,00000	10,00000
25	25	25	1	1	0,10000	44,90000	20,00000	25,00000	10,00000
26	26	26	1	1	8,00000	47,00000	10,00000	25,00000	10,00000
27	27	27	1	1	8,00000	37,00000	20,00000	25,00000	10,00000
28	28	28	2	1	0,10000	30,00000	20,00000	42,45000	7,45000
29	29	29	2	1	0,10000	30,00000	17,45000	45,00000	7,45000
30	30	30	2	1	0,10000	30,00000	17,45000	42,45000	10,00000

**Figure 2.** Design of experiment



**Figure 3.** FactSage 7.3 data input screen



**Figure 4.** Calculation result screen of FactSage 7.3

A mathematical model was created in Minitab 18 software by using the melting temperature values obtained from 156 different slags. Design of experiment (DOE) which include tripartite interaction mixture analysis is applied, and created a model which has 92,37% R<sub>sq</sub> (adj) value. That means, 92,37% of the output variation is explained by the model. Model summary and coefficients of components is given in Figure 5 and Figure 6.

Model Summary					
	S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
	22,0374	93,01%	92,37%	82190,7	91,67%

**Figure 5.** Model summary

Term	Coef
FeO	-7,527
SiO <sub>2</sub>	19,538
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,263
CaO	17,996
MgO	194,564
SiO <sub>2</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,213
SiO <sub>2</sub> *MgO	-3,935
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *CaO	1,782
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *MgO	-4,871
CaO*MgO	-2,370
FeO*SiO <sub>2</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,023
SiO <sub>2</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *CaO	-0,094
SiO <sub>2</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *MgO	0,061
SiO <sub>2</sub> *CaO*MgO	0,046

Figure 5. Coefficients of components

Process Capability Analysis was carried out to determine the difference between the liquidus point obtained by the mathematical model and calculated by FactSage 7.3 software. The analysis result is shown in Figure 7. It was determined that the results were 68% matched in the +/-25°C range.

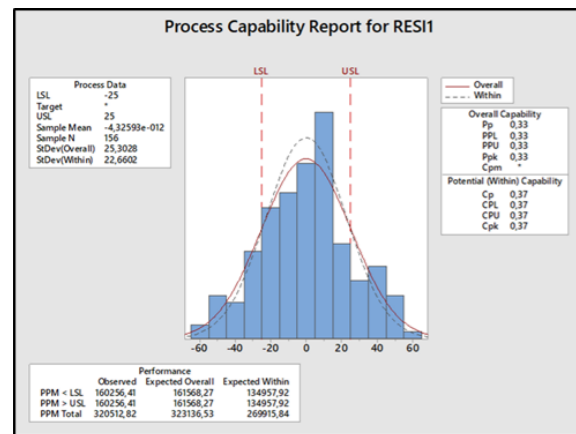


Figure 6. Process capability analysis

The resulting model was fixed on the blast furnace level 2 screens. In this way, the melting temperature of the slag is calculated according to the blast furnace input blend and also with result of chemical slag analysis which is taken from cast house. In case the slag melting temperature exceeds 1300°C or the difference between slag melting and liquid metal temperature below 90°C, the operator is informed by giving a visual warning. Level 2 system screenshots are given in Figure 7.

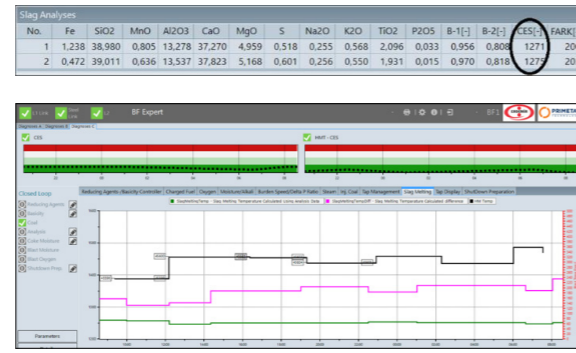


Figure 7. Blast furnace level 2 system screens

#### 4. Conclusion

In this study, data analysis and thermodynamic calculations were carried out to develop a slag melting temperature prediction model in Erdemir blast furnaces. The mixture experiment design was created in Minitab 18 statistical data analysis software, considering the minimum and maximum points of the blast furnace slag analysis under normal operating conditions. 156 different combinations obtained as a result of the experimental design were analyzed with the help of FactSage 7.3 thermodynamic calculation software and their melting points were calculated. These data were examined again in Minitab and a prediction model with a Rsq value of 92,37% was obtained.

The verified model was adapted to the blast furnace level 2 system and started to be used successfully. In this way, in cases where the slag melting temperature changes radically depending on the input blend and also chemical analysis of the final slag, the operator can be warned and necessary precautions can be taken.

#### References

- [1] M. Geerdes, R. Chaigneau, O. Lingardi, R. Molenaar, R. Opbergen, Y. Sha, P. Warren, Modern Blast Furnaces Ironmaking, IOS Press BV, 2020, Amsterdam, Netherlands.
- [2] J. G. Peacey, W. G. Davenport, The Iron Blast Furnace Theory and Practice an introduction, Pergamon, 1979, Oxford, Birleşik Krallık.
- [3] A. K. Biswas, Principle of Blast Furnace Ironmaking Theory and Practice, Cootha Publishing House, 1981, Brisbane, Australia.
- [4] L. Gan, J. Xin, Y. Zhou, Accuratr viscosity calculation for melts in SiO<sub>2</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO systems, ISIJ Int., 2017.
- [5] X. Ma, M. Chen, J. Zhu, H. Xu, G. Wang, B. Zhao, Properties of Low-MgO Ironmaking Blast Furnace Slags, J-STAGE Advance, 2016.

[6] K. Jang, X. Ma, J. Zhu, H. Xu, G. Wang, B. Zhao, Phase Equilibria in the System "FeO"-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO with CaO/SiO<sub>2</sub> 1.3, J-STAGE Advance, 2016.

[7] X. Ma, G. Wang, S. Wu, J. Zhu, B. Zhao, Phase Equilibria in the System CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO System with CaO/SiO<sub>2</sub> 1.3 Relevant to Iron Blast Furnace Slags, J-STAGE Advance, 2015.

[8] B. G. BALDWIN, J.Iron and Steel Inst, 1957.

## A Novel Kalina Cycle Power Plant Integrated with Steel Production in Turkey by Using Aspen-HYSYS

Türkiye' deki Çelik Üretimi İçin Yeni Bir Kalina Çevrim Santralini Aspen HYSYS ile Tasarımı

Furkan KARTAL, Berna KEKİK, Uğur ÖZVEREN

Marmara Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

Turkey is one of the largest steel producers in the world. According to the total increase in steel production in November 2021, the share of the steel industry in Turkey's total energy consumption is 8.55% and its share in energy consumption within the industry is 26.1%. The iron and steel sector consumes a large amount of energy every year and generates a significant amount of waste heat. Utilising waste heat is a viable solution that the steel sector should consider. However, before the waste heat can be used, some difficulties have to be overcome. The aim of this work is to demonstrate the feasibility of a power plant based on the Kalina cycle to generate electricity from waste heat in steel production. Therefore, the Aspen-HYSYS software has been used to simulate the Kalina cycle and determine the thermodynamic properties based on the Soave-Redlich-Kwong (SRK) equation.

### Özet

Türkiye dünyanın en büyük çelik üreticilerinden biridir. Kasım 2021 çelik üretimindeki toplam artışa göre, çelik sektörünün Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içindeki payı %8.55, sektör içindeki enerji tüketimi içindeki payı ise %26.1'dir. Demir-çelik sektörü büyük miktarda enerji tüketmektedir ve önemli miktarda atık ısı üretmektedir. Atık ısının kullanılması, çelik sektörünün dikkate alınması gereken uygun bir çözümdür. Ancak atık ısının kullanılabilmesi için bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, çelik üretiminde atık ısıdan elektrik üretmek için Kalina döngüsüne dayalı bir elektrik santralini fizibilitesini göstermektir. Bu kapsamda, Kalina çevrimini simüle etmek ve Soave-Redlich-Kwong (SRK) denkleminde dayalı termodinamik özellikleri belirlemek için Aspen-HYSYS yazılımı kullanılmıştır.

### 1. Introduction

Steel is used in a variety of sectors, including construction, transportation, and manufacturing, and is particularly valuable. The global economy is therefore strongly influenced by the steel industry. Turkey is one of the largest steel producers in the world. Turkish companies are looking for ways to improve their competitive advantage over other countries and increasing their steel production is one way to

do this. On the other hand, the iron and steel sector consume a large amount of energy every year and produces a significant amount of greenhouse gases. Therefore, it is essential to reduce energy consumption for iron and steel production in Turkey, for example, by using waste heat or investing in renewable energy sources. A new generation of technology is required for the efficient extraction of usable work from low-grade heat. Kalina Cycles have been developed to efficiently capture thermal energy from a variety of sources, including waste heat. Since the Kalina cycle principle was introduced by Alexander Kalina in 1983, the Kalina cycle family has grown to include various versions of Kalina cycle systems with unique configurations [1]. In general, binary ammonia and water working fluids are used in the Kalina Cycle process. The ammonia content in the system can be changed and heat can be captured to improve the efficiency of the cycle. Several modeling studies have been performed as part of the Kalina cycle in recent years, and the results have been published. For the purpose of evaluating the feasibility of recovering waste heat from power facilities, Singh and Kaushik [2] developed a model of a Kalina cycle connected with a coal-fired steam power station. The findings revealed that the total energy efficiency was 0.277 percent and the exergy efficiency was 0.255 percent, respectively. Ogriseck [3] investigated the use of KC in a combined heat and power plant. The total efficiency of the system increased from 12.3 percent to 17.1 percent depending on the amount of ammonia in the mixture and the temperature of the cooling water used in the experiment. This paper presents the results of preliminary research conducted by Kalina Cycle based on energy system for recovering waste heat in steel production. Another aim of this study is to demonstrate the feasibility of a Kalina cycle based power plant to generate electricity from waste heat in steel production. Therefore, Aspen-HYSYS software was used to simulate the Kalina cycle and determine the thermodynamic properties.

### 2. Methodology

To utilize waste heat generated by the steel industry, a Kalina cycle system has been developed. The Kalina cycle system was designed and analyzed using Aspen HYSYS process simulator. The Soave-Redlich-Kwong equation of state was selected to determine the system's energy performance. This research focuses on predicting the amount

of power generated. The results of the computations may also be utilized to lead changes in operating circumstances or technological advancements. The following are the basic assumptions that were applied to simplify the modeling of a Kalina cycle system in this study:

- The Kalina cycle system is in a steady state, with a negligible pressure loss in the unit blocks.
- The mixture of ammonia and water that exits the condenser is a saturated liquid.

- Isentropic efficiency (87%) governs the operation of all compressors, pumps, and turbines.
- Throttling process in valve is isenthalpic.
- Ammonia-water mixture was determined as the working fluid.

The flowsheet diagram of the Kalina cycle analyzed in this research is given in Figure 1.

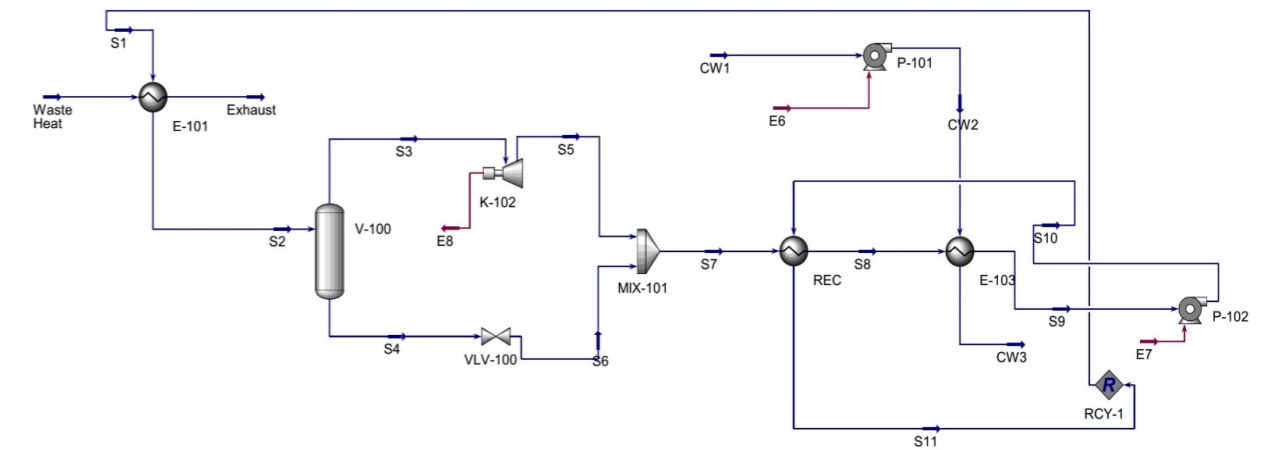


Figure 1. Aspen HYSYS flowsheet diagram of the Kalina cycle process.

The waste heat from steel industry [4] is used as the thermal energy source for the Kalina cycle in this research. In the evaporator (E-101), the ammonia-water mixture is boiled, and then separated into a saturated ammonia-water vapor (S3) and an ammonia-water liquid (S4) in the flash separator (V-100). The vapor is then passed through the turbine (K-102) to generate electricity. In the mixer unit block (MIX-101), a saturated ammonia-water liquid (S4) is throttled down to a low pressure (S6) and mixed with the ammonia-water vapor from the turbine. Afterwards, the ammonia-water mixture (S7) is pre-cooled in the recuperator (REC). The ammonia-water mixture (S8) then cools down in the condenser (E-103) while increasing pressure via the pump (P-102). The closed system is completed when the cold ammonia-water mixture passes through the recuperator (REC) and recycle blocks (RCY-1). Thus, the Kalina cycle has been described, and the system has been developed.

### 3. Results and Discussion

The boiling and condensing characteristics of the ammonia-water combination are varied because it is a non-azeotropic working fluid. Changing temperature during heat-transfer activities reduces thermodynamic irreversibility [5], which has an impact on process efficiency. As a result, changing the ammonia percentage in the mixture has an influence on

the Kalina cycle's efficiency. The impact of ammonia concentration on power generated is given in Figure 2.

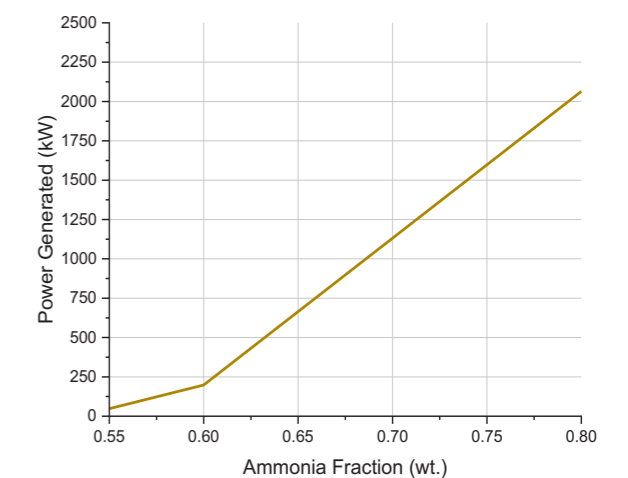
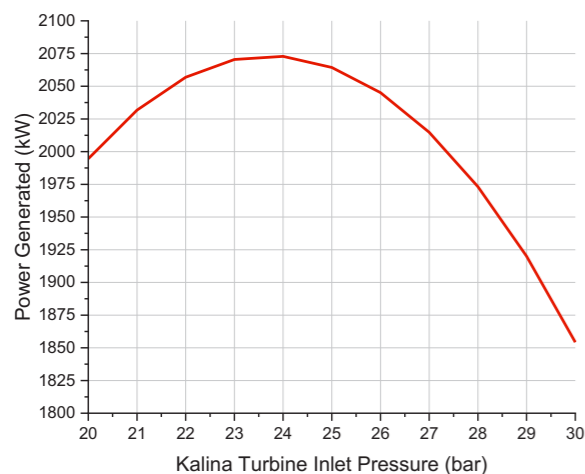


Figure 2. Effect of ammonia fraction on power generated for Kalina cycle system.

The Kalina cycle's working fluid with a high ammonia percentage tends to evaporate to a greater extent at a certain

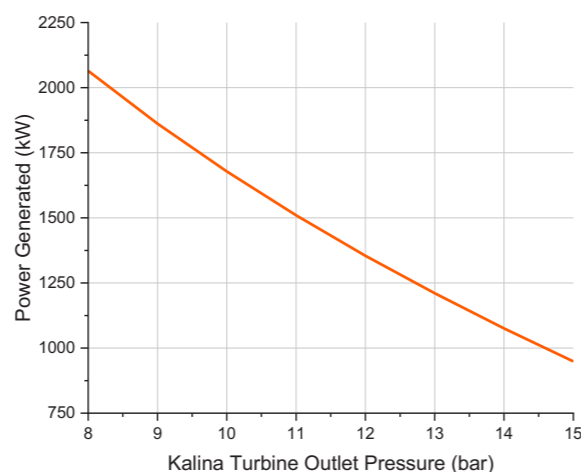
evaporation pressure and cooling condition due to ammonia's lower boiling point than water. As a result, the volume flow rate of the working fluid increases. The turbine's work output increases as the ammonia percentage in the working fluid increases. When the ammonia percentage was raised, the Kalina cycle's power generated increased from 11.11 kW to 2064.35 kW. Furthermore, the impact of the Kalina turbine's inlet pressure is crucial to the system's performance due to the variable turbine power generation. The influence of Kalina turbine inlet pressure on power generated is illustrated in Figure 3.



**Figure 3.** Effect of Kalina turbine inlet pressure on power generated for Kalina cycle system.

Initially, as the working fluid expands further, the turbine's power output rises with the growth in turbine inlet pressure. The power generated rises from 1994.53 kW to 2072.87 kW when the turbine inlet pressure is increased to 24 bar. Beyond 24 bar, the power produced decreases; at 30 bar, the power generated drops to 1854.20 kW. The characteristics of the ammonia-water solution are utilized to identify the behavior that underlies this event. As pressure is raised, the boiling point of the ammonia-water mixture rises. As a result, the volume of the liquid phase in the two-phase fluid grows. Furthermore, as a consequence of this, the Kalina turbine's power generation is lowered.

The temperature of the stream leaving the mixer fluctuates because streams with low ammonia contents are colder than working fluid. As a result, the entering and exiting streams of the heat exchanger, as well as the temperature of the waste heat, vary. This affects the heat transfer to the Kalina cycle and, as a result, the power generated. The pressure at which the working fluid expands is a crucial parameter since it affects the Kalina's power generation. Figure 4 demonstrates the effect of Kalina turbine outlet pressure on power generation.



**Figure 4.** Effect of Kalina turbine outlet pressure on power generation for Kalina cycle system.

The power generated of the Kalina cycle declines from 2064.35 kW to 948.65 kW when the Kalina turbine outlet pressure rises. Although the power required to raise the working fluid to high pressures in order to attain operating pressure decreases, expanding to lower pressures improves the amount of power generated in the turbine considerably.

#### 4. Conclusion

The iron and steel industry consumes a large amount of energy each year and generates a significant amount of waste heat that is disposed of. The use of waste heat is a realistic alternative that the steel industry should consider. In this study, the recovery of waste heat from steel production was investigated from an energy point of view using the Kalina cycle. Therefore, a novel Kalina cycle was developed by using Aspen HYSYS. Below are some of the main conclusions of the study:

- The boiling and condensing characteristics of the ammonia-water combination are varied because it is a non-azeotropic working fluid.
- When the ammonia percentage was raised, the Kalina cycle's power generated increased from 11.11 kW to 2064.35 kW.
- The ideal value for the Kalina turbine inlet pressure was set at 24 bar. Lower expansion pressures also increase energy efficiency, while exergy efficiency decreases.
- The power generated rises from 1994.53 kW to 2072.87 kW when the turbine inlet pressure is increased to 24 bar.
- The power generated of the Kalina cycle declines from 2064.35 kW to 948.65 kW when the Kalina turbine outlet pressure rises.

#### Acknowledgement

This work has been supported by Marmara University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number FYL-2020-10139.

#### References

- [1] O. Ibrahim, S. Klein, Absorption power cycles, *Energy* 21(1) (1996) 21-27.
- [2] O.K. Singh, S. Kaushik, Energy and exergy analysis and optimization of Kalina cycle coupled with a coal fired steam power plant, *Applied thermal engineering* 51(1-2) (2013) 787-800.
- [3] S. Ogriseck, Integration of Kalina cycle in a combined heat and power plant, a case study, *Applied Thermal Engineering* 29(14-15) (2009) 2843-2848.
- [4] B. Zhang, D. Ji, D. Fang, S. Liang, Y. Fan, X. Chen, A novel 220-GHz GaN diode on-chip tripler with high driven power, *IEEE Electron Device Letters* 40(5) (2019) 780-783.
- [5] X. Zhang, M. He, Y. Zhang, A review of research on the Kalina cycle, *Renewable and sustainable energy reviews* 16(7) (2012) 5309-5318.

## MIWENTI Modular Box

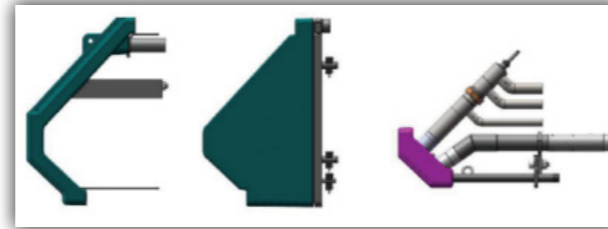
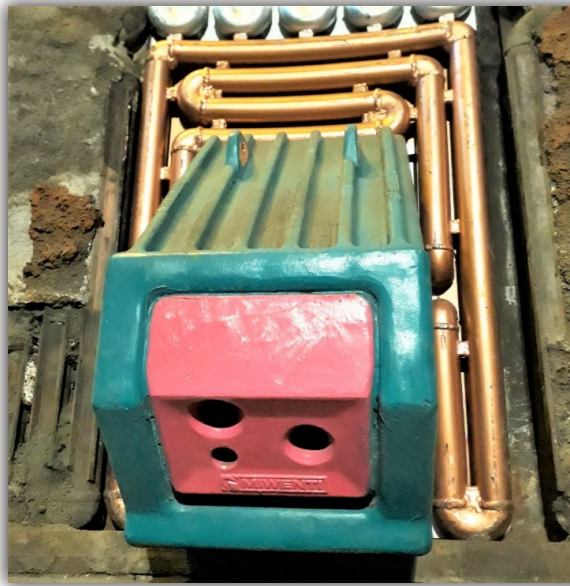


Renato BIANCHI, Pietro CORTIANA

MIWENTI - Italy

### 1. Abstract

The steelmaking process is not static, it is extremely dynamic and each melting phase is different. Injectors (installed in boxes around the EAF) are used during the different furnace working phases to heat the scrap, cut it, homogenize the temperature of the molten steel and inject oxygen.



Furthermore, the target is to reduce functioning and maintenance costs

The target is to install on the furnace an efficient and reliable system in order to have a better injection in the steel than the existing to increase the productivity and to reduce maintenance periods.

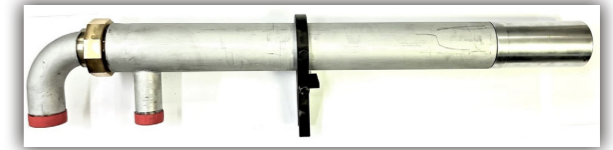
With the BOX (water cooled copper box), the COVER BOX (water cooled copper interchangeable cover panel) and the SKATEPANEL (water cooled copper interchangeable panel), we are able to put the injectors and the lances better in the furnace increasing these positive effects:

- High resist component structure
- High cooling performance design
- Long life components
- Reduction cost of components spare
- Reduction time of maintenance
- Reduction period of maintenance
- Reduction cost of maintenance
- More productivity

### 2. Introduction

The Injection point called MODULAR BOX is composed of elements studied in the years to improve the correct furnace functioning.

It comprehends cooled BOX, COVER and SKATEPANEL with burner/injector and powder lance positioned properly to improve the performances and the efficiency of the furnace.



TEKNOJET can be used in the process phases as follow:

- Scrap melting as HOT FLAME.
- Scrap cutting as SOFT LANCE.
- Decarburization as a SUPERSONIC INJECTOR.

The correct use of TEKNOJET guarantees these performances:

- Improves efficiency oxygen injection
- Improved the homogeneity of the temperature of the liquid steel
- Elimination of cold spots inside the furnace
- Improvement of efficiency in the steel production process
- Increase in production

### 3. Experimental Procedure

#### 3.1. Ordinary Maintenance

This component is studied to replace SKATEPANEL with LANCES together to speed up ordinary maintenance and cleaning operations, with important reduction in costs.

#### 3.2. LANCES

There are two or more lances in the MODULAR BOX, one as an oxygen burner/injector and the other for the powders injection.

#### Teknojet

TEKNOJET is a variable jet burner and supersonic oxygen injector.

It can be used with different types of fuel gases such as NATURAL GAS / LPG / COKE GAS, together with oxygen, reducing the melting phase of scrap and used as oxygen injector in the decarburization phases of liquid steel. It can be work only as injector if it is used with COMPRESSED AIR / NITROGEN instead of fuel gas.

One of the key features is reliability, although it does not require any type of liquid cooling system.

The maintenance of the TEKNOJET is simplified by the interchangeable elements which considerably reduce spare parts costs because in case of damage it is possible to replace only the single damaged component.

#### Teknolance

TEKNOLANCE is a lance designed to inject carbon, lime, and other many types of powders, at high speed, into liquid steel.

Designed to speed up the refining phase of liquid steel, increasing the efficiency of the furnace by carburization of steel and better formation of foamy slag.

TEKNOLANCE is designed to reduce maintenance works. Divided into many interchangeable parts. The most exposed to wear, are made of a high percentage of alumina resistant to abrasiveness from dust, which increases its operating life.

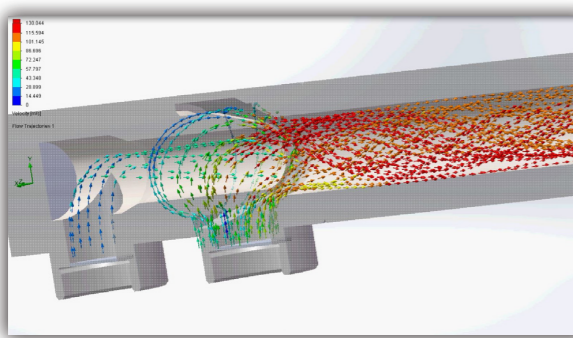
The maintenance of the TEKNOJET is simplified by the interchangeable elements which considerably reduce spare parts costs because in case of damage it is possible to replace only the single damaged component.





The TEKNOLANCE has two connections, one for the powders, and the second one for high pressure compressed air or nitrogen.

It makes use of the Venturi effect technology to improve the pneumatic transport of the powder system and takes advantage of the high pressure of compressed air or nitrogen by increasing the output speed of the powder injected.



The correct use of TEKNOLANCE guarantees these performances:

- Very high speed of powder injection
- Improves the efficiency of powder injection
- Better formation of foamy slag
- Carburation of liquid steel
- Improved the homogeneity of the temperature liquid steel
- Improvement of efficiency in the steel production process
- Increase in production

### 3.3. Technical Data

#### Modular Box

#### BOX

- Material: Cu 99.9%
- Cooling: Direct
- Cooling fluid: Pressurized water
- Minimum flow rate: 10 m3/h
- Minimum inlet pressure: 3 bar
- Maximum inlet pressure: 10 bar
- Minimum pressure difference (IN-OUT): 1.5 bar

#### Cover

- Material: Cu 99.9%
- Cooling: Direct
- Cooling fluid: Pressurized water
- Minimum flow rate: 10 m3/h
- Minimum inlet pressure: 3 bar
- Maximum inlet pressure: 10 bar
- Minimum pressure difference (IN-OUT): 1.5 bar

#### Skatepanel

- Material: Cu 99.9%
- Cooling: Direct
- Cooling fluid: Pressurized water
- Minimum flow rate: 5 m3/h
- Minimum inlet pressure: 3 bar
- Maximum inlet pressure: 10 bar
- Minimum pressure difference (IN-OUT): 1.5 bar

#### Teknojet (burner/injector)

- Material of nozzle, tip: Cu 99.9%
- Material of variable jet burner: stainless steel
- Material of supersonic oxygen injector: stainless steel
- Fuel gas: Coke gas, CH<sub>4</sub>, GPL

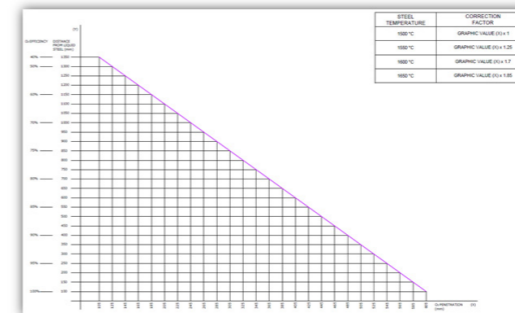
- Calorific value: 15 ÷ 113 MJ/Nm<sup>3</sup>
- Power: 3 MW ÷ 8 MW
- Comburent gas: Oxygen
- Injection speed: Mach 2

#### Teknolance (powders injector)

- Material: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 18NiCrMo5, AISI 310,
- Type: High speed injection
- Injection Speed: 100 m/s
- Maximum granulometry: 20 mm

### 3. Results and Discussion

Here there is the diagram of the study about the oxygen injection at the typical inclinations of our Modular Box (50°):



### 4. Conclusion

#### 4.1 Energetic Benefits

- Better effectiveness of oxygen injection can save electrical energy.
- Optimizing the powder injection in the furnace decreases its electrical and chemical energy consumption.
- Better injection of powders into the liquid steel leads to greater formation of foamy slag with lower consumption of electrodes.
- The homogenized molten steel obtained with a better oxygen and powders injection entails minor refractory consumptions.

#### 4.2 Mechanical Benefits

- Designed to reduce the cost of spare parts compared to the other competitors.
- Made in multiple modules with the aim of reducing replacement costs for maintenance.
- The simplicity of the component is the key to high reliability and reduced maintenance requirements.
- The high-performance cooling circuit increases the life of the components.
- The long life of the components implies a reduction of the necessary maintenance, means a reduction of costs.

#### 4.3 Process Benefits

- A better efficiency of the oxygen injection can reduce the formation of iron oxides in the furnace, increasing the yield.
- A better oxygen injection efficiency can reduce the POWER ON time, increasing productivity.
- The previous advantages that imply the reduction of the necessary maintenance effect the reduction of the POWER OFF time.
- The global time savings (POWER ON and POWER OFF) result to an increase in productivity.
- Consumption data collection is useful when analysing productivity.

#### 4.4 Safety Benefits

- Heavy duty component construction removes any water leakage to increase the safety level of the electric arc furnace EAF.
- All components are designed to satisfy the highest and most important safety standard rules.

### References

- [1] R. Bianchi CEO of MIWENTI and Inventor, Italy.  
[2] P. Cortiana PROJECT ENGINEER of MIWENTI, Italy.

## Advances in Calcium Treatment with CaSi HDx™ Cored Wire in Steelmaking

◆  
**Edgar-Ivan CASTRO-CEDEÑO, Alexandre CARRÉ, Maksym LOCHOSHVILI,  
 Marc SCHATZ, Vincent MORESCHI**

Affival SAS - France

### Abstract

This paper presents two of the most recent R&D developments at Affival, aiding in the design, development and testing of new cored wire solutions for trimming, microalloying and performing calcium treatment during secondary metallurgy: 1) the DissolFil proprietary software, which simulates the thermal history of a given cored wire up until the release of any kind of filler material into the liquid steel; and 2) a multiphase CFD model of calcium release, transport, and dissolution in the steel ladle, based on the OpenFoam® work-frame, which allows to quantize the effect of several parameters on the overall calcium yield.

### 1. Introduction

Affival is one of the pioneers in the development of cored wire injection technology, with 40 years of experience in the manufacturing of cored wire and its associated injection equipment [1]. Affival is part of the Opta group, one of the world leaders in desulfurization, custom-designed fluxes, and cored wire products [2].

The cored wire injection technology has established itself as the preferred method of addition for trimming major components and microalloying in the ladle furnace [3] as well as other secondary metallurgy vessels. In its simplest form, the cored wire consists of a metal sheath (casing) tightly wrapped around a core of alloying material (for instance: Ca, CaSi, CaFe, FeTi, FeB, FeV, FeNb, C, S, FeS, Al, etc.).

When cored wire is injected into the steel melt, the release of the core material into the melt is delayed thanks to the complex transient process of cored-wire assimilation into the melt [4]. This product feature is especially useful for the addition of elements with high vapor pressure and low solubility such as calcium. In this case, ensuring that the release of calcium takes place deep within the melt contributes to enhance the performance of the calcium treatment (calcium has a larger timespan for achieving its intended role of inclusion modification before leftover unreacted calcium vapor is expelled from the ladle): higher Ca-yield and tighter deviation of the calcium content.

Some of the means to achieving a better performance of calcium cored wire additions are by optimizing both the cored wire design features and the wire injection conditions. At Affival there is a dedicated team to attend for these needs by conducting continuous R&D on cored wire design and the associated feeding equipment, as well as more fundamental research on the calcium dissolution in the ladle and inclusion modification by this element.

This paper presents an example of how two of our most recent R&D developments serve as an aid-tool in the design, development and testing of new cored wire solutions, such as the Affival CaSi HDx™ cored wires, presented schematically in Figure 1. The CaSi HDx™ technology consists of an extruded metallic calcium core surrounded by Si-bearing powder, i.e., placed between the calcium core and the steel sheath.



CaSi HDx™

**Figure 1.** New calcium cored wires with thermal insulation produced by Affival.

The two R&D developments discussed in this work are: 1) the DissolFil proprietary software, which allows to simulate the thermal history of a given cored wire up until the release of calcium into the liquid steel bath; and 2) a multiphase flow model that considers calcium release, transport, and dissolution in the steel ladle, based on the OpenFoam® work-frame, which allows to quantify the effect of ladle design and injection parameters on the overall calcium yield.

More examples, in which a coupled R&D – metallurgical assistance approach is used, such as the use of statistical methods for evaluation of Ca recovery, and methods for characterization of inclusion populations coupled with thermodynamic simulations, are available in the paper by Carré et al. [5].

### 2. Modeling studies

#### 2.1 Modeling of cored wire assimilation into liquid steel baths

A finite-volume model aimed for the simulation of the thermal phenomena occurring when the wire is injected into a liquid metal bath was developed recently [4]. The main governing differential equations are written below. Equation (1) is the energy conservation equation with an enthalpy-based formulation. Equation (2) presents the local heat balance at the wire/melt interface, which dictates if melting, solidification, or simple heating is taking place at the wire/melt interface.

$$\rho \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (1)$$

$$\rho \Delta H_m \frac{dV}{dt} = S \lambda \nabla T_{int} - h S (T_{melt} - T_{int}) \quad (2)$$

The nomenclature used in Equations (1)(2) is the following:  $\rho$  [kg m<sup>-3</sup>] is density,  $H$  [J kg<sup>-1</sup>] is specific enthalpy,  $t$  [s] is time,  $\lambda$  [W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>] is thermal conductivity,  $T$  [K] is temperature,  $\Delta H_m$  [J kg<sup>-1</sup>] is latent heat of melting of the material at the wire/melt interface,  $V$  [m<sup>3</sup>] is volume,  $S$  [m<sup>2</sup>] is the surface area of the wire/melt interface,  $h$  [W m<sup>-2</sup> K] is convective heat transfer coefficient,  $T_{melt}$  [K] is the liquid metal bath temperature, and  $T_{int}$  [K] is the local temperature at the wire/melt interface. Full details of the formulation and discretization of the equations, and validation of the model are provided elsewhere [4].

The numerical implementation of this model is embedded into the proprietary software DissolFil, which is internally developed and maintained at Affival. It performs calculations of the full thermal history of the wire as it is being injected into the melt (from wire entry up to wire destruction). DissolFil has sufficient flexibility to account for both, cored wire design parameters and steelmaking process parameters, e.g., wire diameter, wire filler nature, steel composition, bath temperature, etc.

#### 2.2 Multiphase modeling of calcium release, transport, and dissolution in the ladle

A Computational Fluid Dynamics (CFD) two-phase Euler-Euler model of the gas-liquid turbulent flow inside a steel ladle is in development at Affival. This new model, based on the OpenFoam® work-frame, is the successor of a

previous model [6] that was based on the Ansys® Fluent work-frame.

Briefly, the system is governed by a set of partial differential equations expressing the conservation of mass (Equation 3) and momentum (Equation 4) for each phase in the system; the subscript  $k$  in the equations stands for either the liquid (l) or gas (g) phases:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_k \rho_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \vec{u}_k) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_k \rho_k \vec{u}_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \vec{u}_k \otimes \vec{u}_k) = -\alpha_k \nabla p + \nabla \cdot (\alpha_k \bar{\tau}) + \alpha_k \rho_k \vec{g} + \vec{F}_k \quad (4)$$

where  $t$  [s] is time,  $\alpha$  is volumetric fraction of phase  $k$ ,  $\rho$  [kg m<sup>-3</sup>] is density,  $u$  [m s<sup>-1</sup>] is velocity,  $p$  [Pa] is pressure,  $\tau$  [Pa] is the viscous stress tensor,  $g$  [m s<sup>-1</sup>] is gravity, and  $F$  [N m<sup>3</sup>] represents the interaction forces between phases (drag, lift, added mass and turbulent dispersion). It is assumed that the local pressure is shared between the two phases. Turbulence is calculated by means of the  $k$ - $\epsilon$  model.

The model contains a set of conservation equations for the concentration of Ca in the gas and in the liquid (Equation 5). These equations account for the evolution of the concentration of this element in each phase in the system: liquid, and gas:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_k \rho_k Y_{Ca,k}) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \vec{u}_k Y_{Ca,k}) = -\nabla \cdot \left( \alpha_k \left( \rho_k D_{Ca,k} + \frac{\mu_{t,k}}{Sc_t} \right) \nabla Y_{Ca,k} \right) \quad (5)$$

where  $Y_{Ca,k}$  is mass fraction of calcium in phase  $k$ ,  $D_{Ca,k}$  [m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>] is diffusion coefficient of Ca in phase  $k$ ,  $\mu_{t,k}$  [Pa s] is turbulent viscosity and  $Sc_t$  is turbulent Schmidt number. Again, the subscript  $k$  stands for either the liquid (l) or gas (g) phases.

The model considers that gaseous calcium bubbles released from the cored wire stir the melt and dissolve to a certain extent before they reach the surface of the bath and finally escape the melt. It is assumed that the process of Ca dissolution is governed by interphase mass transfer at the boundary layer between the Ca bubbles and liquid steel. Equation 6 is used to estimate the local rate of Ca mass transfer from the gas to the liquid phase:

$$\dot{m}_{Ca} = k_l a \rho_l (Y_{Ca,l}^* - Y_{Ca,l}) \quad (6)$$

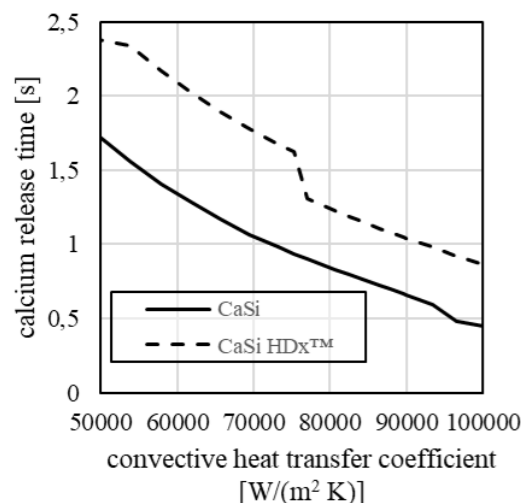
where  $m_{Ca}$  is the volumetric rate of mass transfer,  $k_{1a}$  is the volumetric mass transfer coefficient,  $\rho_l$  is the density of the liquid. The term in parenthesis represents the driving force for mass transfer, where  $Y_{Ca,l}^*$  is the equilibrium calcium mass fraction at the gas/liquid interface (derived from appropriate thermodynamic data), and  $Y_{Ca,l}$  is the calcium mass fraction in the bulk of the liquid phase.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Cored wire assimilation into liquid steel baths

Figure 2 presents an example of some calculations that can be easily performed with the DissolFil software. This example shows, for a commercially available CaSi cored wire and for Affival CaSi HDx™ cored wire, estimations of the calcium release time into a low carbon steel as a function of the convective heat transfer coefficient at the wire/melt interface. By means of appropriate dimensionless correlations the convective heat transfer coefficient can be further related to an equivalent wire injection speed [4].

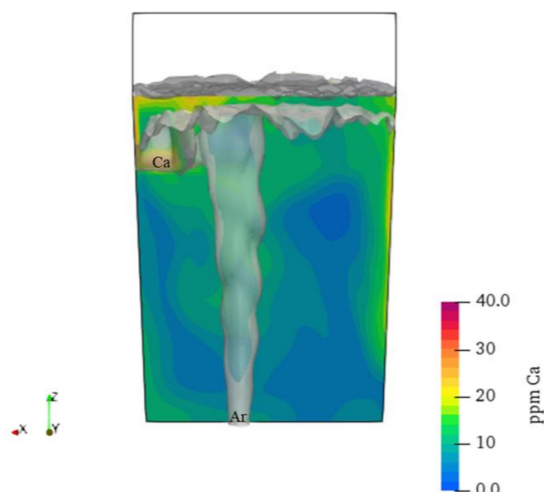
The curves in Figure 2 show that at equal conditions, calcium release is delayed for the CaSi HDx™ wire, with respect to a commercially available CaSi wire. This is translated into a deeper release of calcium, which is one of the main contributors for enhancing the performances of calcium treatment. It is also important to state that this example corresponds to a specific combination of steel grade and bath temperature; changing either would produce a different set of curves.



**Figure 2.** Estimations of calcium release time for CaSi cored wire and Affival CaSi HDx™ cored wire. Calculations were performed with the proprietary software DissolFil.

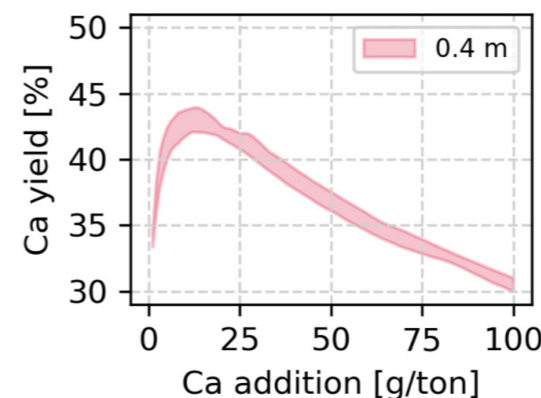
#### 3.2 Multiphase modeling of calcium release, transport, and dissolution in the ladle

Figure 3 shows an example of some of the results that are obtained with the multiphase model. The iso-contours of total calcium illustrate the development of gradients of calcium in the steel during the injection of the cored wire. On the same figure, the shape of the gas plume is shown in pale gray. The location of the source of argon into the system via a porous plug is identified by the 'Ar' tag, and the source of calcium after its release from the cored wire is identified by the 'Ca' tag.

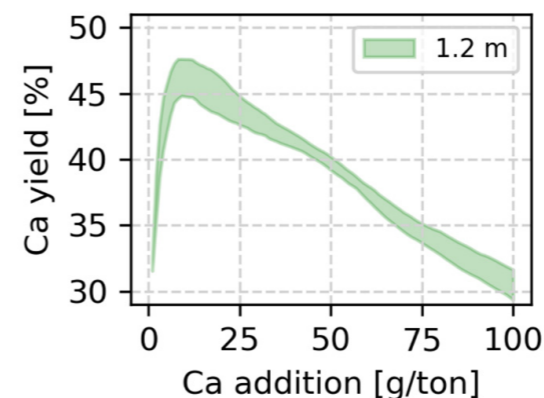


**Figure 3.** Contours of total calcium content in a steel ladle during calcium injection.

A second example is presented in Figure 4a and Figure 4b, where the effects of depth of release of calcium on the overall calcium yield, as a function of the dosage of the calcium addition, in g/ton, are shown. The span of the filled regions represents a range of calcium addition rates between 120 and 190 g Ca/s. The decay period in these curves is related to a reduction of the driving force term in Equation 6, as the bulk of the bath is progressively enriched in calcium. As is expected, the model corroborates that, a deeper release of calcium leads to better metallurgical performances of the treatment, i.e., better calcium yield.



**Figure 4a.** Estimations of calcium yield as a function of calcium dosage, for calcium release depth of 0.4 m



**Figure 4b.** Estimations of calcium yield as a function of calcium dosage, for calcium release depth of 1.2 m

### 4. Conclusion

Some of the latest R&D active developments at Affival SAS are presented and discussed in this work. The proprietary software DissolFil allows to calculate the depth of release of calcium as a function of cored wire design and steelmaking process parameters such as bath temperature and composition. Furthermore, a multiphase flow model that uses the OpenFoam® work-frame is capable of assessing the effect of the depth of calcium release, calcium addition rate and other process parameters on the performance of calcium treatment by cored wire injection. More examples of different developments are provided in ref. [5].

The technologies team (formerly R&D) at Affival uses such tools in the scope of new product developments, such as the CaSi HDx™ cored wire. A worldwide team of experts also provide metallurgical assistance, either related to cored wire

injection [1], or to slag conditioners and metallurgical fluxes from the Opta Group [2], that are now part of Affival's product portfolio. A mishap in calcium treatment may bring potentially catastrophic consequences. It is thereby necessary to secure the process with reliable solutions, such as the CaSi HDx™ wires, which also perfectly fit to the approach of Total Cost of Ownership (TCO); i.e., these new wires enable to bring cost savings to the end-users by reducing drastically the consumptions and securing the steelmaking process.

### References

- [1] < <https://optagroupplc.com/affival/> > Dated: 07.02.2022
- [2] < <https://optagroupplc.com/> > Dated: 07.02.2022
- [3] L. Holappa, Secondary Steelmaking, Ed. by S. Seetharaman, Treatise on Process Metallurgy Vol. 3: Industrial Processes, Elsevier, 2014, Oxford, United Kingdom.
- [4] E.-I. Castro-Cedeno, A. Jardy, A. Carré, S. Gerardin and J.-P. Bellot, "Thermal Modeling of the Injection of Standard and Thermally Insulated Cored Wire", Metallurgical and Materials Transactions B, 48 (2017) 3316-3328.
- [5] A. Carré and S. Gerardin, Recent developments in calcium treatment in steelmaking: a source of technical efficiency and cost savings, 9<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Clean Steel, September 2015, Budapest, Hungary.
- [6] E.-I. Castro-Cedeno, A. Jardy, B. Boissiere, J. Lehmann, P. Gardin, A. Carré, S Gerardin and J.-P. Bellot, Numerical simulation of modification of non-metallic inclusions by calcium treatment in the argon-stirred ladle, Metallurgical Research and Technology, 119 (2019) 515.

## Demir Çelik Sektöründe Yeni Ürün Geliştirme Süreci

### New Product Development Process of Iron and Steel Industry



**Ali Yağız ŞAHİN, Aysun IŞIKGÜL, Mücahit SEVİM, Nazmi SARIKAYA**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

The iron and steel industry supplies finished and semi-finished products to many industrial sectors such as construction, infrastructure, transportation, defense, healthcare, automotive, white goods, machinery and manufacturing, and furniture. Many countries consider the iron and steel industry as a strategic industry and take economic measures to protect the industry. As the sector address to many industries of industry therefore the requirements and product variety are as wide as the volume. It is important for sustainable production and the future the companies create cost-effective and more efficient working methods in their production processes. In addition to the improvement works to be made in the processes include of high value-added products in the existing product range has become a necessary part of the process. The new product development process is an expensive process in industry. The fact that trial production slows down the current production process, the cost of unsuccessful trial productions, demand and price stability and instant market conditions are considered sufficient for the sustainability of the capital, hinders many enterprises from new product development activities. In this context, the support of the management and effective cooperation between the units are very important for a successful new product development process. In this study, the operational steps in the planning, projecting and development of the new product development process that will ensure the fastest entry of new products to be produced in the iron and steel industry in accordance with customer demands and the target market are discussed. At the same time, the process from new product ideas to products introduced to the market is explained in detail.

#### Özet

Demir çelik sektörü inşaat, ulaşım, altyapı, savunma, sağlık, otomotiv, beyaz eşya, mobilya, makine ve imalat gibi birçok endüstriyel sektöre nihai ve yarı mamul tedarik etmektedir. Günümüzde demir çelik ürünlerinin üretimi ve tüketimi, ülkelerin ekonomik gelişmişliklerinin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Birçok ülke demir çelik üretimini stratejik bir sektör olarak kabul etmekte ve korumak için ekonomik önlemler almaktadır. Farklı sanayi dallarına hitap etmesi sebebiyle de

gereksinimleri ve ürün çeşitliliği geniş bir yelpazeye sahiptir. Firmaların üretim süreçlerinde maliyet düşürücü ve daha verimli çalışma yöntemleri oluşturmaları sürdürülebilir üretim ve gelecek için önem arz etmektedir. Proseslerde yapılacak iyileştirme çalışmalarının yanı sıra katma değeri yüksek ürünlerin mevcut ürün yelpazesine dahil edilmesi sürecin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Sürecin pahalı olması, denemelerin devam eden üretim sürecini yavaşlatması, başarısızlığın maliyet yaratması, pazar ve konjonktürün elverişliliği yeni ürün sürecine etki yapmaktadır. Bu bağlamda yönetimin desteği ve birimler arası koordinasyon, belirleyici unsurlardır. Çalışmada, demir çelik sektöründe üretilecek yeni ürünlerin müşteri taleplerini karşılayacak şekilde hedef pazara girişinin sağlanması için gerekli çalışmaların planlanması, projelendirilmesi ve geliştirilmesindeki faaliyet adımları ile yeni ürün fikirlerinden piyasaya sunulan ürünlere kadar olan süreç anlatılmaktadır.

#### 1. Giriş

Günümüzde, her sektörde olduğu gibi demir çelik sektörünün de dış çevresel etkenleri hızlı değişkenlik göstermektedir. Bu değişim, teknolojiyenin piyasa yapılarına, yaşam tarzından bireysel ilişkilere kadar birçok alanı etkilemektedir. İşletmelerin ayakta kalabilmesi için sürecin yakından takip edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Firmalar, teknolojik gelişmeleri ve buluşları kısa sürede endüstriyel ölçekte gerçekleştirmeleri gerekmektedir. [1].

Bu sebeple işletmelerin içinde bulunduğu rekabetçi ortamdan etkilenmeden geleceğe emin adımlar ile ilerleyebilmeleri için yeni ürün geliştirmek vazgeçilmez bir adım haline gelmiştir. Yeni ürün geliştirmek maliyetli, dikkatli, çaba, zaman ve yetenek gerektiren bir süreçtir. Yapılan bir araştırmada yeni ürünlerde başarısızlık oranının ihtiyaçların doğrudan karşılandığı tüketim mallarında % 40, ara ve nihai ürünlerden oluşan endüstriyel mallarda % 20, hizmet sektöründe ise % 18 olduğu tespit edilmiştir [2]. Yeni ürün süreci pazarda avantaj sağlamak, mevcut konumu güçlendirmekte, yüksek katma değer nedeni ile karlılığı arttırmaktadır. Bu sonuçlar firmaların göz ardı etmemesi gereken bir süreç haline gelmiştir.

Bu çalışma, demir çelik sektöründe müşteri taleplerinin alınması, ürünün spesifikasyonlarının incelenerek yapılabilirliğinin değerlendirilmesi, müşteri termin süreleri göz önüne alınarak proje planının oluşturulması ve üretimin tamamlanması sonrasında pazara sunulması adımlarını içermektedir.

#### 2. Yeni Ürün Kavramı ve Önemi

İtici güç olarak tanımlanan yenilik, müşterilerin henüz bilmediği bir ürünün veya var olan bir ürünün yeni bir niteliğinin pazara sürülmesi, yeni üretim yöntem ve süreçlerinin uygulanması, yeni pazarların oluşması, işletme faaliyetleri için gerekli olan kaynakların tedarik edilmesi olarak tanımlanmaktadır [3].

Yeni ürün geliştirme çalışmalarının anlatımı öncesinde "Yeni" kavramının tanımlanması gerekmektedir. Yaratıcı mal ve hizmet sunabilen rekabetçi şirketler pazarda söz sahibi olmaktadır. Bunlar, piyasaya olağan mal ve hizmetlerden farklı olarak özellikli yeni ürün ve hizmetlere yönelmektedir. İnovasyona ağırlık veren ve tüketicinin beklentilerini karşılayan firmalar bu yöntem ile pazarda öncelikli konuma geçmektedir. [4].

Günümüzde pazar dinamikleri hızlı bir şekilde değişmektedir. 1980'lerin ve 1990'ların maliyet kontrolü ve kalite iyileştirme odaklı popüler stratejileri, günümüz pazarlarında rekabeti kazanmak için artık yeterli değildir. Son yıllarda rekabet avantajı ve başarı, ancak mevcut pazarlarda farklı ve özgün ürünler sunabilen işletmeler tarafından sağlanmaktadır. Artık sistem müşteri-tedarikçi-işletme çalışanları işbirliği ile ilerleyen bir yapıya dönüşmüştür.

Bir işletmenin yeni ürün geliştirilmesinde etken birçok sebep bulunmaktadır [5]. Bunlar:

- Farklı talepler,
- Rekabet yapı değişikliği,
- Pazarlama teknikleri,
- Üretim teknolojik gelişmeleri,
- Finansal durum,
- Yeni imaj.

#### 3. Yeni Ürün Türleri

Yenilik konusunda firmalar farklı yaklaşımlarda bulunmaktadır. Riskler, fırsatlar ve stratejiler yeniliğin türüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

##### 3.1. Firma İçin Yeni, Pazar İçin Yenilik İçermeyen Ürün

Ürün, standartlara göre ve geçmiş tecrübeler dikkate alınarak üretilmekte ve piyasaya giriş yapmak üzere

pazara sunulmaktadır. Ancak sürekli geliştirme ve yeniliğe açık olmak zorunluluğu bulunmaktadır.

##### 3.2. Firma İçin Yeni, Pazar İçin Küçük Yenilik İçeren Yeni Ürün

Bu ürün bir önceki yeniliğe göre çok daha özelliklere sahiptir.

##### 3.3. Firma İçin Yeni, Pazar İçin Anlamlı Yenilik İçeren Yeni Ürün

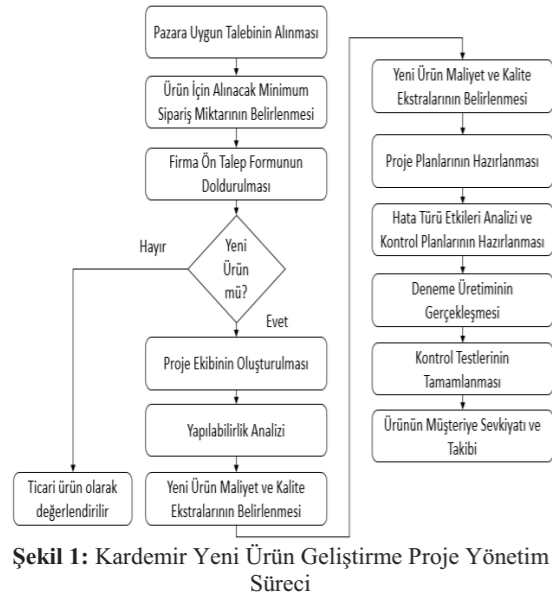
Yenilik ve katma değer içeren ürünlerin pazarlama süreci daha kolay olmaktadır. Ürünün eskisi ile karşılaştırıldığında değişim ön plana çıkmaktadır.

##### 3.4. Firma ve Pazar İçin Yeni Ürün

Daha önce denenmemiş ve piyasaya sürülmemiş, tamamen yenilikçi bir fikir ile pazara sunulan yeni ürün şüpheyle karşılanmaktadır. Ürünün güvenliği, ihtiyaç durumu, farklı bir ürünle ikamesi gibi sorgulamalar ortaya çıkmaktadır. Hedef kitleye ulaşması ve kabul edilebilirliği için pazarlama yaklaşımı önem arz etmektedir.

#### 4. Demir Çelik Sektöründe Yeni Ürün Geliştirme Süreci

Sektörde, teknoloji gelişimi ve pazar talebi göz önünde bulundurularak yeni ürün geliştirme sürecine gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda Kardemir için yeni ürün ifadesi şirketin ürün gamında olmayan ve satışa sunulacak tüm yeni çelik ürünlerini (kalite, ürün cinsi, ürün grubu) kapsamaktadır. Yeni ürün geliştirme, proje yönetimi sürecinde tanımlanan esaslara göre yürütülmektedir. Müşteri talebi sürecin ana tetikleyicisi ve başlangıç noktası olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1: Kardemir Yeni Ürün Geliştirme Proje Yönetim Süreci

#### 4.1. Yeni Ürün Müşteri Talebinin Alınması

Çelik kaliteleri ve üründen beklenen teknik özellikler, standartlarda geniş olarak tanımlanmaktadır. Ancak sektörde kullanıcılar, fiziki üretim koşulları ve üretim hatlarının özelliklerine uygun olarak, standartlarda tanımlanan değerleri, kendi ihtiyaçları doğrultusunda veya çok daha dar limitlerde yeniden tanımlayabilmektedir. Ürün geliştirme çalışmaları öncesinde, pazarda hedef müşteri grupları belirlenmekte ve üreticilerden talep edilen ürün spesifikasyonları ile piyasa araştırması yapılmaktadır.

Talepler "Firma Ön Talep Formu" ile değerlendirilmektedir. İnceleme sonrasında talebin yeni ürün olduğuna karar verilir ise "Yeni Ürün / Değişiklik Talep Formu" doldurulmaktadır. Formda 3 aşama bulunmaktadır:

- **Müşteri Bilgileri:** Müşteriye ait genel bilgiler (Talep Tarihi, Müşteri Adı, Talep Miktarı vb.)
- **Ürünle İlgili Bilgiler:** Ürünün kullanım yeri ve üretim esnasında tabi tutulacağı işlemler hakkında bilgiler
- **Ürüne Ait Spesifikasyonlar:** Kimyasal ve mekanik özellikler ile ilgili bilgiler (Akma, Çekme, Uzama vb.)

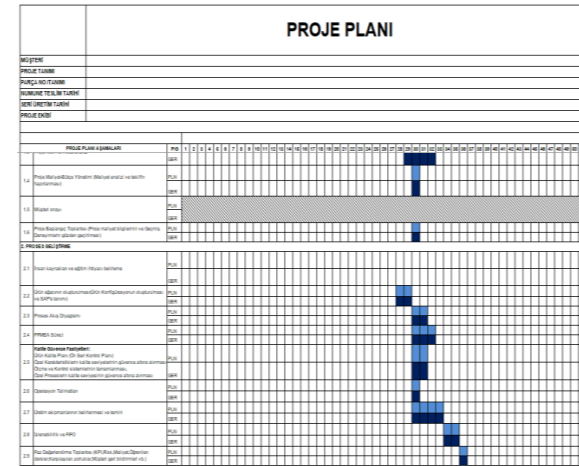
#### 4.2. Talebin Yapılabilirlik İncelemesi

Müşteri talebinin alınması sonrasında yeni ürünün üretim süreci için konu hakkında eğitim almış proje ekibi oluşturulur. Ekip, talepte belirtilen özelliklere uygun

Kardemir üretim şartlarına ve koşulların teknolojik yapısına göre üretilebilirliğini "Yapılabilirlik Analiz Formu"nu kullanarak belirler. Bu analiz talep edilen ürün için yapılabilir, değişiklik önerilerek yapılabilir veya ürün yapılamaz karar seçeneklerini belirler.

#### 4.3. Proje Planının Oluşturulması

Bu aşama sonrasında, ürünün proje başlama, bitiş, kalite kontrol test planları, risk fırsat analizleri, deneme üretim ve seri üretim tarihi gibi adımları içeren proje planı hazırlanarak kritik adımlar belirlenir.



Şekil 2: Kardemir Proje Planı Örneği

Proje planı, ekip tarafından güncel olarak takip edilir gecikme halinde aksiyon alınır. Üretilebilirlik değerlendirmesi sonrasında Kardemir doküman kayıt sistemi üzerinde ürüne ait kalite kayıtları tanımlanır. Ayrıca, ürünün malzeme kodu, çapı, kalitesi, mekanik değerleri SAP sistemi üzerinden tanımlanır ve üniteler tarafından etkin bir şekilde takip edilir.

#### 4.4. Deneme Üretimi

Yeni ürün üretimi öncesinde müşteri tarafından özel olarak belirtilen ve Kardemir için kritik karakteristik olarak kabul edilen özellikler "Müşteri Özel Karakteristikler Tablosunda" tanımlanır. Ayrıca, ürüne ait hata türü etki analizi (FMEA), ürün özellikleri ve standartları, ürünle ilgili yasal şartların yer aldığı kontrol planları ünite sorumluları tarafından deneme üretimleri öncesinde hazırlanır ve doküman yönetim sistemine yüklenir. Deneme üretimi yeni ürün prosedürüne göre gerçekleştirilerek proje ekibi üyeleri tarafından takip edilir. Yeni kalite/ürün için ölçüm cihazları ile yapılan ve elde edilen bilgilerin doğruluğunu görmek için Ölçüm Sistemleri Analizi Formları (MSA) ve üretimin

istatistiksel olarak doğruluğunun kontrol etmek için İstatistiksel Proses Kontrol Formları (SPC) hazırlanır.

#### 4.5. Müşteri Talebinin Karşlanması

Ürünün müşteri spesifikasyonları ve standartları göz önüne alınarak deneme üretim süreci tamamlanır. Bu süreçte müşterinin talep etmiş olduğu etiketleme, paketleme ve sevkiyat koşulları da dikkate alınır. Müşteri ile mutabık kalınması sonrasında hazırlanan dokümanlar ve ürünün sevk işlemleri gerçekleştirilir.

Giriş kontrol testleri sonrasında müşterinin onayı alınır ve seri üretime başlanır. Bu aşamada yeni ürün geliştirme süreci başarılı bir şekilde tamamlanır [6].

#### 5. Sonuç

Çalışmada yeni ürün kavramı, yeni ürün geliştirme günümüzde işletmeler açısından önemi ve yeni ürün geliştirme süreci ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Sektörlerin yeni ürün geliştirme nedenleri:

- Piyasadaki beklentilerin karşılanması,
- Ürün yelpazesinin geliştirilmesi,
- Pazarda farklılık yaratılması ve rekabet avantajı sağlanması,
- Teknolojiye uyum sağlanması,
- Mevzuat gerekliliklerinin yerine getirilmesidir.

Yeni ürün süreci riskli bir yatırımdır. Sürecin başarı faktörleri arasında:

- Üst yönetim desteği,
- Pazarlama stratejisi,
- Proje ekibinin ilgisi,
- Müşteri taleplerinin anlaşılması,
- Yeni ürün sürecinin benimsenmesi, güncellenmesi ve takip edilmesi yer almaktadır.

Kurulduğu 1939 yılından günümüze Kardemir üretim kapasitesini artırmakta ve yeni yatırımlara ağırlık vermekte ve ürün gamını genişletmektedir. Yatırımları yapılan Ray Profil Haddehanesini 2007'de ve Demiryolu Teker Üretim Tesisini de 2019 yılında devreye alarak demiryolu sektörüne yönelik ray ve demiryolu tekeri ürün gamını ülkemize kazandırmıştır. 2016 yılında Çubuk ve Kangal Haddehanesi yatırımının tamamlanması ile de otomotiv sektörüne yönelik ince ve kalın kangal üretimleri gerçekleştirilmektedir. Bu ürünlerin üretimleri ile birlikte, 2019 yılında otomotiv için IATF 16949 ve demiryolu için de 22163 IRIS Yönetim Sistemi belgelerine sahip olunmuştur.

#### Teşekkür

Çalışmada bizlerden desteğini esirgemeyen Kardemir A.Ş. Yönetim Kurulumuz ve Üst Yönetimimize teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] N. Sarıkaya, "Demir çelik sektöründe yeni ürün geliştirme sürecine ilişkin bir model önerisi" Karabük Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2018, Karabük
- [2] A. Şen, "Yeni ürün geliştirme sürecinin yönetimi ve kombi üretimine yönelik bir model önerisi" İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2006, İstanbul
- [3] <https://www.nobelyayin.com/kitap\_bilgileri/dosyalar/inovasyon\_blm\_170625.pdf> Tarih:2019
- [4] N. Altuğ, "İşletmelerde yeni ürün geliştirme çalışmaları ve başarı faktörü" Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, 2017, Edirne
- [5] Y. Durmaz, & M. Yardımcıoğlu "Ürün Kararları ve Stratejileri Üzerine Teorik Bir Yaklaşım" Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2015, Kahramanmaraş
- [6] N. Müsellim "Yeni ürün geliştirme süreci başarı ve başarısızlık nedenleri" İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2002, İstanbul
- [7] Kardemir A.Ş Yeni Ürün Değişiklik / Talep Formu 2021
- [8] Kardemir A.Ş Proje Planı 2021

## Çelik Potaları Cüruf Bölgesinde Kullanılan MgO-C Refrakter Tuğlaların Farklı Kalite Çelik Cüruflarına Karşı Penetrasyon Davranışının İncelenmesi

Examination of Penetration Behavior of MgO-C Refractory Bricks Used in Steel Ladles Slag Zone Against Different Quality Steel Slags

◆ **Figen İNCE<sup>1</sup>, Berkay YILMAZ<sup>1</sup>, Ayşe Şükran DEMİRKIRAN<sup>2</sup>, Serdar ASLAN<sup>2</sup>, İsmail ŞİŞLİ<sup>1</sup>, Onur ALTAY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kardemir A.Ş., <sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

Production and transportation of liquid metal in the iron and steel industry is associated with the use of refractory materials. One of the most important cost items of this process is the consumption of refractory. Studies carried out to increase the useful life of refractory materials are important for companies.

The corrosion resistance of refractories against liquid metal and slag is an important parameter. For this reason, it is necessary to choose the appropriate material, to know how the selected refractory material behaves under which conditions and to determine the penetration behavior of different slags.

In this study, the slag-refractory interaction of MgO-C bricks used at the slag level of Kardemir steel ladles was researched by using the ladle method. Within the scope of the study, samples were taken from SAE 1040, 1065, 1008, B420, 41Cr4, 42CrMo4, 17MnB3, R260, S235 quality steel production slags, grinded and melted at high temperature in crucibles prepared from MgO-C bricks. After the melting process, the crucibles were cut axially with a diamond-tipped cutter and the spreading areas of the slags on the refractory surface were determined. Interaction depth measurements were performed with SEM images and linear EDX analyses.

Interaction caused by oxide transitions affecting the chemical stability of refractory has been examined.

### Özet

Demir çelik sektöründe sıvı metal üretimi ve taşınması, refrakter malzeme kullanımı ile ilişkilidir. Bu prosesin en önemli maliyet kalemlerinden biri refrakter tüketimidir. Refrakter malzemelerin kullanım ömrünü artırmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar, işletmeler açısından önem arz etmektedir.

Refrakterlerin sıvı metal ve cürufa karşı gösterdiği korozyon direnci önemli bir parametredir. Bu nedenle uygun malzeme seçimi yapmak, seçilen refrakter malzemenin hangi koşulda nasıl davranış gösterdiğini bilmek ve farklı cürufların penetrasyon davranışını tespit etmek gerekmektedir.

Bu çalışmada, Kardemir çelik potaları cüruf seviyesinde kullanılan MgO-C tuğlaların pota yöntemi kullanılarak cüruf-refrakter etkileşimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında SAE 1040, 1065, 1008, B420, 41Cr4, 42CrMo4, 17MnB3, R260, S235 kalite çelik üretim cüruflarından numune alınarak öğütülmüş ve MgO-C tuğlalardan hazırlanan krozeler içerisinde yüksek sıcaklıkta ergitilmiştir. Ergitme işlemi sonrasında krozeler elmas uçlu kesici ile aksel olarak kesilmiş ve cürufların refrakter yüzeyindeki yayılma alanları tespit edilmiştir. SEM görüntüleri ile çizgisel EDX analizleri ve etkileşim alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Refrakterin kimyasal kararlılığını etkileyen oksit geçişlerinin sebep olduğu etkileşim irdelemiştir.

### 1. Giriş

Refrakter malzemeler yüksek sıcaklıklarda üretim yapan; demir üretim tesislerinin kok fırınlarında, yüksek fırın ve diğer yerlerinde, çelik üretim tesislerinin pota fırınlarında ve oksijen konverterlerinde, çelik dökümhanelerinin elektrik ark ocaklarında ve ısıtma fırınlarında ve daha birçok alanda kullanımı mevcuttur [1].

Günümüz çelik endüstrisinde birçok modernizasyon, yeni prosesler ve teknikler geliştirilmiştir. Bu bağlamda refrakter malzemelerin önceki beklenenden daha fazla performans beklentisi oluşmasından dolayı proseslerdeki davranışları incelenerek kullanım ömrünü artırmak, işletmeler için önemlidir [2]. Çelik üretim prosesindeki refrakter malzeme maliyeti, toplam maliyete bakıldığında oldukça belirgin yer almaktadır [3].

MgO-C refrakterlerde bulunan magnezya taneleri, sahip oldukları yüksek yoğunluklar, büyük kristal boyutu ve bununla birlikte düşük ikincil fazlar nedeniyle refrakterin dayanım ömrünü son derece artırmaktadır. Cüruf direnci, bir refrakter malzemenin tüm kimyasal reaksiyonlara karşı dayanımını belirlemektedir. Refrakter astarın sıvı cüruf tarafından korozyona uğraması konusunda cürufun kimyasal bileşiminin önemli bir yeri vardır [4].

Bu çalışmada, farklı kalitelere sahip çelik cüruflarının refrakter ile etkileşimleri incelenmiştir.

### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında, Kardemir pota fırınları çelik üretim cüruflarından numune alınarak öğütülmüş ve hazırlanan MgO-C kalite refrakter krozeler içerisinde ergitilmiştir. Pota yöntemi diye bilinen, refrakter – cüruf penetrasyon testi uygulanmış ve tuğlaların etkileşim davranışı gözlemlenmiştir.

#### 2.1 Numunelerin Hazırlanması

MgO-C tuğlalar 5 cm ebatlarında küp şeklinde kesilmiş ve 30 mm derinliğinde pota çukuru oluşturularak penetrasyon testine yönelik hazırlığı tamamlanmıştır.



Şekil 1: MgO-C Refrakter Krozeleri ve Şamot Tuğla Kapakları

Çizelge 1: MgO-C Refrakter Krozelerin Kimyasal ve Fiziksel özellikleri

KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER	İSTENİLEN DEĞERLER	
	TİPİK	SINIR
<b>Kimyasal Özellikler</b>		
MgO (%)	98.0	Min. 96.0
SiO <sub>2</sub> (%)	0.45	-
CaO (%)	1.10	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.05	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.40	-
C (% Koklaşma sonrası)	16.0	Min. 14.0
<b>Fiziksel Özellikler</b>		
Hacim Ağırlığı ( g/cm <sup>3</sup> , koklaşma sonrası)	3.00	Min. 2.90
Görünür Porozite ( % koklaşma sonrası)	4.0	Maks. 6
Soğukta Basınca Dayanım (N/mm <sup>2</sup> 1100°C'da yakılmış tuğlada)	45.0	Min. 40.0

İlgili cüruf numunelerine kırma, öğütme ve eleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemleri sonucunda, cüruf tane boyutu 150 µm altına indirilmiştir. Hazırlanan cüruf numunelerinin makro görüntüleri aşağıda yer almaktadır.



Şekil 2: Kırma Uygulanan Numune Görüntüsü



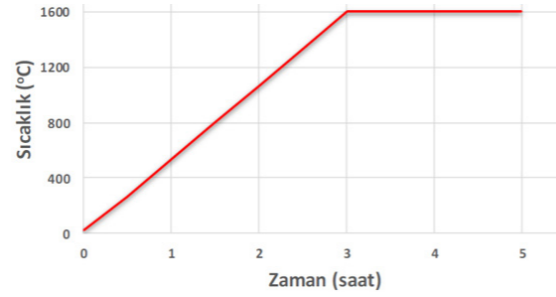
Şekil 3: Öğütme Uygulanan Numune Görüntüsü



Şekil 4: Eleme Uygulanan Numune Görüntüsü

## 2.2 Deneysel Yöntem

Refrakter krozelere ilk olarak 100°C derecede 1 saat kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra toz halindeki cürüfler krozelere şarj edilerek fırın sıcaklığı 3 saatte 1600°C'ye çıkarılmış, 1600°C'de 2 saat ergitme işlemi uygulanmış ardından soğutma işlemi fırın içerisinde tamamlanmıştır. Ergitme işlemi sonrası krozeler eksel olarak elmas uçlu kesici ile kesilmiştir. Refrakter-cüruf etkileşim bölgesinin SEM görüntüleri, noktasal ve çizgisel EDX analizleri ve etkileşim bölgesi alan ölçüm analizleri yapılmıştır. SEM incelemeleri Zeiss EVO LS15 taramalı elektron mikroskobu kullanılarak, ikincil elektron (SE) ve geri-saçılan elektron (BSD) dedektörleri ile gerçekleştirilmiştir. Mikroskoba bağlı Bruker EDX (enerji dağılımlı x-ışını spektrometresi) sistemiyle noktasal, alansal ve çizgisel mikro-kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5: Ergitme Prosesi Grafiği



Şekil 6: Ergitme Prosesi Öncesi Numunelerin Genel Görüntüsü

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Cüruf-refrakter etkileşiminin incelendiği numunelere ait bilgiler aşağıdaki tabloda belirtilmektedir.

Çizelge 2: İncelenen Numune Bilgileri

NUMUNE NO	DÖKÜM NO	KALİTE
1	2137053	S235_00
2	2111393	1040
3	2126018	B420_01
4	2136069	1008
5	2116295	42CrMo4
6	2116302	41Cr4_C
7	2122544	1065_01
8	2122543	1065_02
9	2126720	R260_02
10	2116355	17MnB3

Çizelge 3: Cüruf Numunelerinin Fırın Öncesi XRF Analizleri

FIRIN ÖNCESİ XRF SONUÇLARI							
DÖKÜM NO	KALİTE	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S
2111393	1040	0,023	6,36	4,32	31,14	0,058	0,415
2122544	1065_01	0,022	7,42	3,19	29,13	0,04	0,753
2122543	1065_02	0,11	10,28	8,51	23,95	0,04	2,078
2136069	1008	0,053	11,26	10,76	12,65	0,141	0,3492
2126018	B420_01	0,012	8,633	8,641	18,06	0,086	1,006
2116302	41Cr4_C	0,006	9,85	16,34	0,012	0,068	1,155
2116295	42CrMo4	0,013	9,73	15,89	0,012	0,071	1,111
2116355	17MnB3	0,012	11,63	21,87	0,011	0,067	0,775
2126720	R260_02	0,013	5,07	4,72	21,24	0,08	0,9451
2137053	S235_00	0,014	9,57	2,695	24,63	0,057	0,6908

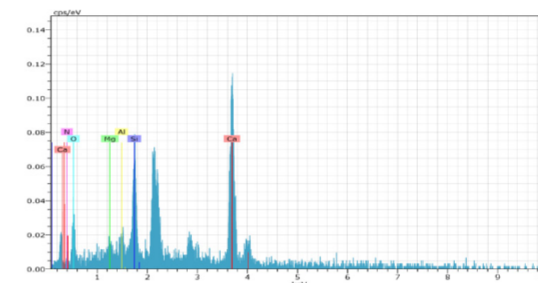
  

DÖKÜM NO	KALİTE	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	-
2111393	1040	0,001	54,84	0,401	0,641	1,78	
2122544	1065_01	0,001	58,09	0,189	0,114	1,04	
2122543	1065_02	0,001	54,01	0,295	0,161	0,52	
2136069	1008	0,004	61,88	0,371	0,667	1,839	
2126018	B420_01	0,005	62,01	0,292	0,331	0,902	
2116302	41Cr4_C	0,004	70,31	0,285	0,159	1,8	
2116295	42CrMo4	0,005	71,53	0,296	0,171	1,16	
2116355	17MnB3	0,005	62,29	1,22	0,98	1,11	
2126720	R260_02	0,005	66,39	0,299	0,317	0,89	
2137053	S235_00	0,004	60,39	0,273	0,635	1,01	

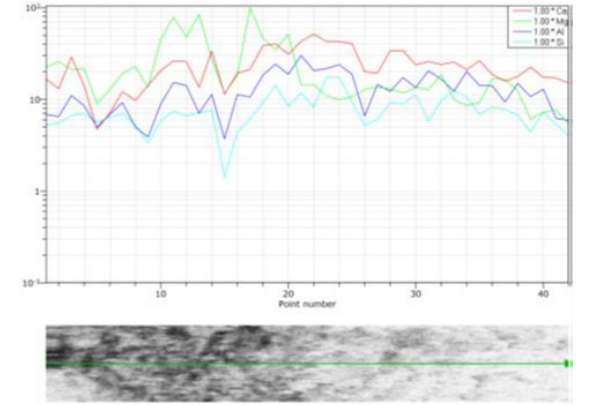
Gerçekleştirilen analizler sonucunda on farklı kalite cürufun refrakter ile penetrasyonu incelenmiş, ancak 42CrMo4, 41Cr4 ve 17MnB3 kalite cürüflarında refrakter ile etkileşim tespit edilmiştir.

### 5 numaralı numune sonuçları (42CrMo4);

Cüruf-refrakter etkileşim bölgesi SEM ve EDX analizi ile incelenmiştir. Refrakterden cüruf bölgesine gidildikçe Mg miktarı azalmış, Ca, Al ve Si element miktarlarında artış olduğu görülmüştür.

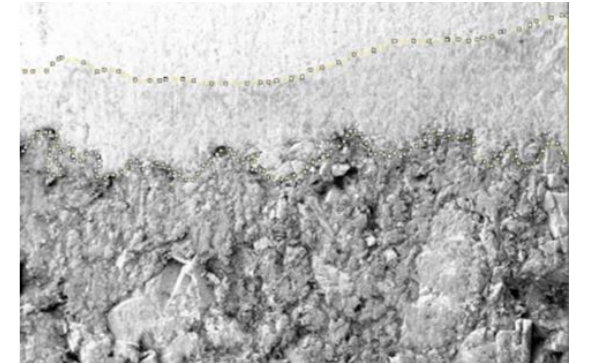


Şekil 7: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi EDX Analizi



Şekil 8: Taban LineScan Görüntüsü

Geri saçılan elektron (BSD) dedektörü ile çekilen görüntülerde cüruf refrakter etkileşimi tespit edilmiştir. Penetrasyon bölgesinden alınan SEM görüntüsü üzerinden, ImageJ programı yardımı ile penetrasyon alan hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi SEM Görüntüsü

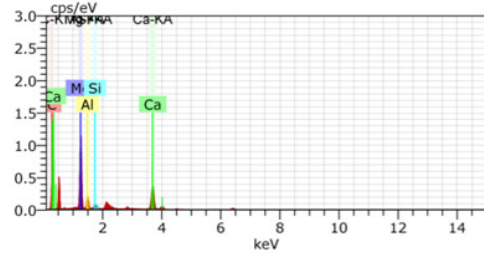
Piksel cinsinden elde edilen alan hesaplamaları sonucunda, kroze taban bölgesinde %26,38'lik bir penetrasyon oranı hesaplanmıştır. Kroze sağ ve sol duvar bölgesinde cüruf refrakter etkileşimi gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4: Penetrasyon Alanı Hesaplaması

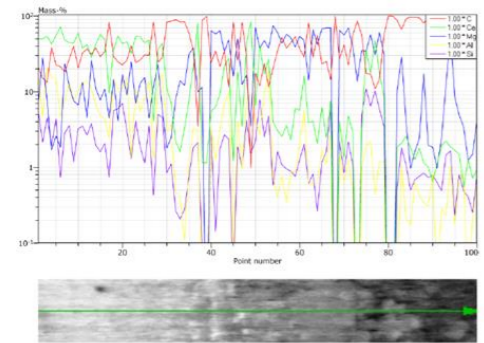
Toplam Alan	695640
Penetrasyon Alanı	183524
Penetrasyon Oranı	26,38%

**6 numaralı numune sonuçları (41Cr4);**

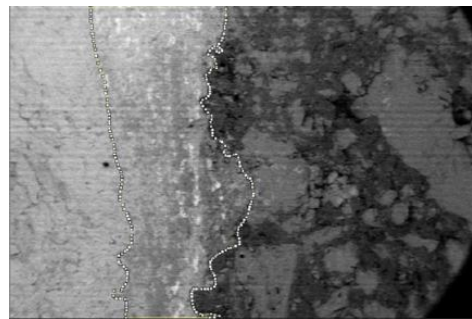
Cüruf-refrakter etkileşim bölgesi SEM ve EDX analizi ile incelenmiştir. Refrakterden cüruf bölgesine gidildikçe Mg miktarı azalmış, Ca, Al ve Si element miktarlarında artış olduğu görülmüştür.



Şekil 10: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi EDS



Şekil 11: Sağ Duvar LineScan Görüntüsü



Şekil 12: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi SEM Görüntüsü

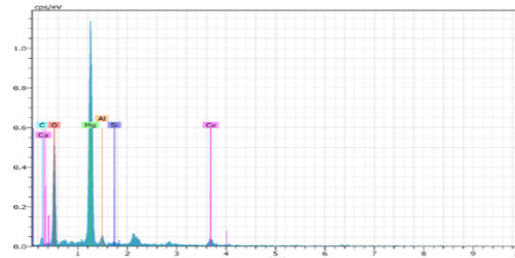
Piksel cinsinden elde edilen alan hesaplamaları sonucunda, kroze sağ duvar bölgesinde %23,45'lik bir penetrasyon oranı hesaplanmıştır. Kroze taban ve sol duvar bölgesinde cüruf refrakter etkileşimi gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5: Penetrasyon Alanı Hesaplaması

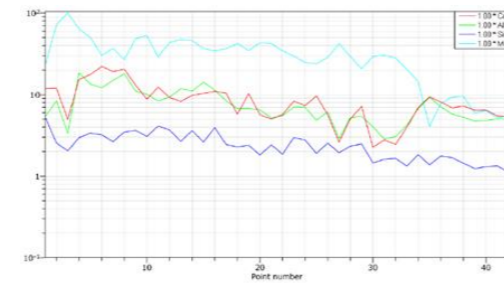
Toplam Alan	706893
Penetrasyon Alanı	165784
Penetrasyon Oranı	23,45%

**10 numaralı numune sonuçları (17MnB3);**

Cüruf-refrakter etkileşim bölgesi SEM ve EDX analizi ile incelenmiştir. Refrakterden cüruf bölgesine gidildikçe Ca, Mg, Al ve Si oranlarında düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 13: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi



Şekil 14: Taban LineScan Görüntüsü



Şekil 15: Cüruf-Refrakter Etkileşim Bölgesi SEM Görüntüsü

Piksel cinsinden elde edilen alan hesaplamaları sonucunda, kroze taban bölgesinde %44,91'lik bir penetrasyon oranı hesaplanmıştır. Kroze sağ ve sol duvarlarında cüruf refrakter etkileşimi gözlemlenmemiştir.

Çizelge 6: Penetrasyon Alanı Hesaplaması

Toplam Alan	706560
Penetrasyon Alanı	317317
Penetrasyon Oranı	44,91%

**Cüruf Refrakter Etkileşimi Tespit Edilmeyen Numune Sonuçları;**

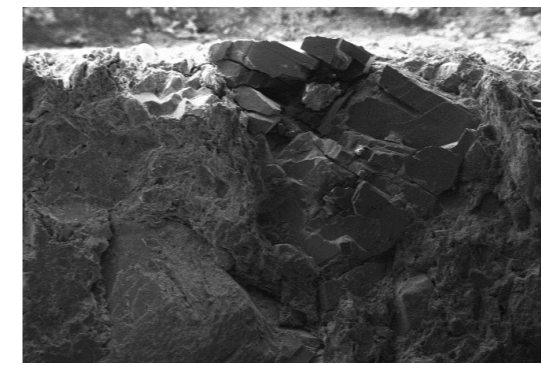
Aşağıda SEM görüntüleri verilen kaliteler için cüruf refrakter etkileşimi tespit edilmemiştir.

**1 Numaralı Numune Sonuçları (S235);**

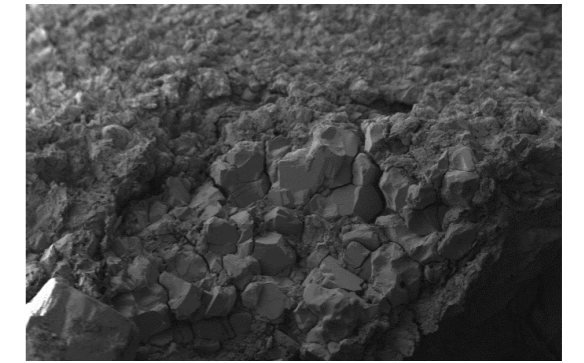
Şekil 16: Kroze Sağ Alt Bölge SEM Görüntüsü

**2 Numaralı Numune Sonuçları (1040);**

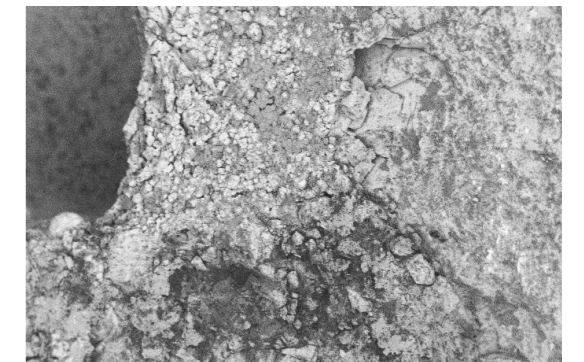
Şekil 17: Kroze Sol Alt Bölge SEM Görüntüsü

**3 Numaralı Numune Sonuçları (B420);**

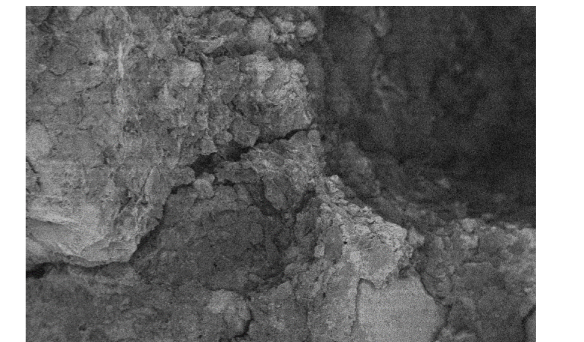
Şekil 18: Kroze Taban Geçiş Bölgesi SEM Görüntüsü

**4 Numaralı Numune Sonuçları (1008);**

Şekil 19: Kroze Taban Geçiş Bölgesi SEM Görüntüsü

**7 Numaralı Numune Sonuçları (1065\_01);**

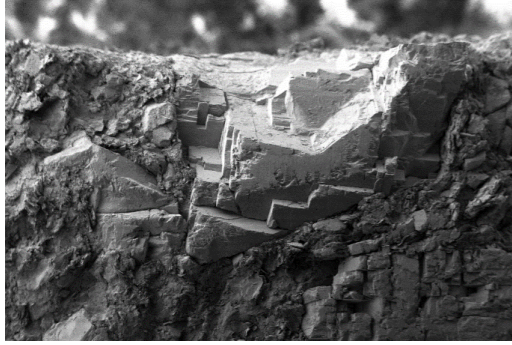
Şekil 20: Kroze Sağ Alt Bölge SEM Görüntüsü

**8 Numaralı Numune Sonuçları (1065\_02);**

Şekil 21: Kroze Sol Alt Bölge SEM Görüntüsü



### 9 Numaralı Numune Sonuçları (R260);



Şekil 22: Kroze Taban Geçiş Bölgesi SEM Görüntüsü

#### 4. Sonuç

Bu çalışma da Kardemir pota fırınlarında üretimi gerçekleştirilen, on farklı kalite için çürük numuneleri alınmıştır. Alınan bu numunelerin pota çürük seviyesinde kullanılan MgO-C refrakter ile etkileşimi sonucu meydana gelen penetrasyon davranışı incelenmiştir.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda;

- 41Cr4 kalite için, çürük refrakter penetrasyon oranı **%23,45** olarak hesaplanmıştır.
- 42CrMo4 kalite için, çürük refrakter penetrasyon oranı **%26,38** olarak hesaplanmıştır.
- 17MnB3 kalite için, çürük refrakter penetrasyon oranı **%44,91** olarak hesaplanmıştır.

Çürük refrakter penetrasyonu tespit edilen kalitelere vakum prosesi uygulanması, pota fırınından çıkış sıcaklığının yaklaşık 40-50°C daha yüksek olmasını gerektirmektedir. Ek olarak bu kalitelerin pota fırını işlem süresinin daha uzun olduğu belirlenmiştir. Potada yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresi ile çalışılması durumunda çürük refrakter etkileşimi artmaktadır.

Bu kalitelere sınırlı silis miktarı ile çalışılması, silika bazlı çürük yapıcı kullanılmamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle florit kullanılmıştır. Florit kullanımı ile çürükün sıvılaştığı, böylece sıvı çürükün refraktere daha çok penetre olduğu görülmektedir.

Florit kullanım miktarının ve pota fırını çalışma sıcaklığının daha yüksek olması sebebi ile 17MnB3 kalitesinde en yüksek çürük refrakter penetrasyonu tespit edilmiştir.

### Referanslar

- [1] N.Erdoğan, R.Yıldız Magnezit ve Bazik Refrakter Malzeme Teknolojisi, 1995, Kütahya Türkiye
- [2] M. Sağlam, Bazik Oksijen Fırınlarında Refrakter Astar Ömrünün Artırılması, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006, İstanbul Türkiye
- [3] İ. Şişli, Sürekli Döküm Tandışlerinde Çürük ile Refrakter Etkileşimleri, Y. Lisans Tezi, 2016, Karabük, Türkiye
- [4] C. Gürçan, Doğru Akım Elektrik Ark Fırınında Ergimiş Magnezit Üretimi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002, İstanbul Türkiye

## Kardemir AŞ Çubuk Kangal Haddehanesi Seviye 2 Sistemi

Kardemir Bar and Coil Rolling Mill Level 2 System



**Sefa ÇETİNKAYA, Mustafa DARAKÇIOĞLU, Mücahit SEVİM, Nur KARAHAN, Merve REYHANOĞLU**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In recent years, with the rapid changes experienced within the scope of Industry 4.0, productivity gains have been achieved with digital transformation technologies in the industry. Determining the level of digitalization is as important as the technologies to be used in digitalization in terms of production processes. Model-based process control and real-time data tracking in complex production lines are carried out by expert systems called Level 2.

In this study, the Level 2 system, which was established in order to provide process control and perform retrospective reporting in Kardemir Bar and Coil Rolling Mill, was examined. Process control is carried out in real time by combining the real production data from the field with the plan and practical information of the casting. In this way, it has been ensured that the production process of the Çubuk Coil Rolling Mill is operated with optimum efficiency by reducing the waiting times between operations and that the highest quality flawless product is produced from the production line.

### Özet

Son yıllarda Endüstri 4.0 kapsamında yaşanan hızlı değişimlerle birlikte sanayide dijital dönüşüm teknolojileri ile verimlilik artışı sağlanmaktadır. Dijitalleşmede kullanılacak teknolojiler kadar dijitalleşme seviyesinin belirlenmesi üretim süreçleri açısından önemlidir. Karmaşık üretim hatlarında model bazlı süreç kontrolü ve gerçek zamanlı veri takibi Seviye 2 adı verilen uzman sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada, Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde proses kontrolünü sağlamak ve geriye dönük raporlama işlemi gerçekleştirebilmek amacıyla kurulan Seviye 2 sistemi incelenmiştir. Proses kontrolü, sahadan alınan gerçek üretim verileri, döküme ait plan ve pratik bilgileri ile birleştirilerek gerçek zamanlı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde Çubuk Kangal Haddehanesi üretim prosesinin operasyonlar arası işlem bekleme süreleri azaltılarak optimum verimle çalıştırılması ve üretim hattından en yüksek kalitede kusursuz ürün elde edilmesi sağlanmıştır.

### 1. Giriş

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan ve sanayi gelişimine yön veren yeni süreçler, beraberinde birçok teknolojik gelişmeyi ve yeniliği getirmiştir. Bu süreçte robotlaşan üretim proseslerinde tamamen dijitalleşme üzerine kurulan yeni bir platforma geçildiği görülmektedir [1]. Üretim yapan şirketler için yeni dünya düzeninde hızla artan rekabet ortamında avantajlı hale gelebilmek, işletmelerin ortak hedefleri arasında yer almaktadır [2]. Rekabet içerisinde oldukları şirketlere göre daha avantajlı hale gelebilmek için daha verimli süreçler sağlamak, üretim maliyetlerini azaltmak ve üretim esnekliğini artırmak zorundadırlar [3]. Bu süreçte öne çıkmak ve rekabet gücünü artırmak; insan kaynaklı hataları ortadan kaldıran, zamandan, iş gücünden ve enerjiden tasarruf sağlayan dijitalizasyon teknolojileri ile mümkün hale gelmektedir.

Endüstriyel ağa bağlı tüm cihazlar birbirleri ile haberleşerek bu cihazlardan alınan veriler okunarak Seviye 2 gibi akıllı yazılımlar sayesinde işlenmektedir. Proses kontrol ve otomasyon sistemleri kullanılarak, üretim organizasyonları daha düşük maliyetle gerçekleştirilmekte, süreç bilgisi optimize edilebilmekte ve enerji verimliliği artırılabilir [4].

Bu çalışmada Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde, Programlanabilir Logic Control cihazları (PLC), saha ekipmanları ve kurumsal seviye canlı haberleşerek istenilen verilerin izlenmesi ve raporlarının alınması için web tabanlı gerçekleştirilen Seviye 2 sisteminin fonksiyonları ve faydaları irdelenmiştir.

Çalışmada Çubuk ve Kangal üretim prosesi, Seviye sistemleri ve Seviye 2 sistemi ile ilgili temel kavramlar, Çubuk ve Kangal Haddehanesinde devreye alınan Seviye 2 sistemi ve sistemin ERP (Enterprise Resource Planning) ile entegrasyonu, QR kod/ Data Matrix kodların okunması ve işletilmesi, Sistem çalışma mimarisi ve güvenliği ve Raporlama fonksiyonları incelenmiştir.

### 2. Üretim Prosesi

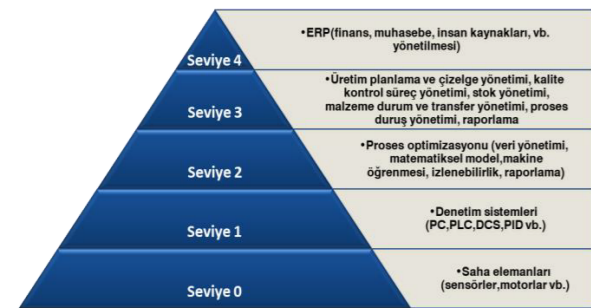
Çubuk ve Kangal Haddehanesinde Kangal (Ø5,5-25mm), Kalın Kangal (Garret) (Ø20-55mm), Yuvarlak Çubuk, (Ø20-100mm), Nervürlü Çubuk (Ø8-40mm) olmak üzere dört nihai mamul üretimi yapılmaktadır [5]. Üretim planına göre kütükler fırına şarj edilir, ardından tavlanan kütükler

tufal giderme ünitesine otomatik olarak gönderilir, ana kumanda operatörü istenen ebata göre haddeleme prosesinin gerçekleşmesini ve malzemenin istenen soğutma işlemini su ve hava ile yapılmasını sağlar. Daha sonra, ürün türüne göre (kangal, kalın kangal, çubuk) üretim hattı süreci tamamlanır ve devamında bu süreci lojistik, paketleme ve satış yönetim süreçleri takip eder [6].

Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde proses/ürün izlenebilirliğini sağlamak, ERP üzerinden takip edilen verilerin seviye 2 sistemi ile entegrasyonunu sağlamak, gelişmiş raporlama özelliği ile bilgi sağlamak amacıyla seviye 2 sistemi kurulmuştur. Kurulan bu sistem ile Çubuk Kangal Haddehanesindeki mevcut hattın fırın öncesi stok sahasından itibaren, malzemenin çıkışta paketlenmesi ile son bulacak izleme, raporlama ve yönetme işlemi gerçekleştirilmektedir. Seviye 2 sistemi kapsamında hazırlanan yazılım sayesinde; üretim planlama, hammadde malzeme durum bilgisi, ekipman yönetimi, enerji sarfiyatı kontrolü gibi temel fonksiyonların yanı sıra, giren her malzemeye ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçlarına göre, bu veriler konsolide edilerek üretim yapılmaktadır.

### 3. Seviye Sistemleri

Otomasyon hiyerarşisi (Şekil 1) bir operasyonu gerçekleştirmek için makine ve teknolojinin senkronize bir şekilde nasıl çalıştığına dair indirgenmiş bir anlatım sağlar. Klasik olarak yapılandırılmış bir otomasyon hiyerarşisi beş temel seviyede incelenebilir. Bu seviyeler; saha seviyesi (input/output sinyalleri), denetim seviyesi (PLC), süreç kumanda seviyesi (SCADA), işlem kumanda seviyesi (MES) ve işletme kumanda seviyesi (ERP) olarak hiyerarşik katmanlara ayrılmıştır [7,8].



Şekil 1. Otomasyon Hiyerarşisi

Seviye 0, saha donanımlarını kapsamaktadır. Örneğin, motorlar veya pnömomatik sistemler Seviye 0 'da bulunmaktadır ve çıkış sinyalleri ile aktive edilebilirler. Benzer şekilde sensör, switch gibi elemanlar bu seviyede bulunurlar ve saha durumunu giriş sinyali ile anlık olarak kontrol sistemlerine bildirirler. Seviye 1, otomatik kontrol seviyesi olarak da adlandırılmaktadır. PLC ve DCS çözümleri, bu seviye için verilebilecek örneklerdir. Seviye 2 katmanı, sahadaki üretim ile MES (Manufacturing

Execution System) arasında köprü oluşturan bu seviyede üretim sürecini destekleyici fonksiyonlar bulunur. Seviye 3 sistemleri üretim odaklı sistemler olup üretim personelinin iş planlarına yön vermek amacıyla kullanılırlar. Seviye 3 sistemi tüm Seviye 2 sistemleri ile anlık olarak iki yönlü iletişim halindedir. Kurumsal düzeydeki süreçlerin ve üretim ile direkt olarak bağlantılı olmayan süreçlerin (finans, muhasebe, insan kaynakları, vb.) yönetilmesinde ise Seviye 4 katmanını oluşturan ERP yazılımları kullanılmaktadır.

### 3.1. Seviye 2 sistemi

Sahadaki üretim ile MES (Manufacturing Execution System) arasında köprü oluşturan bu seviyede üretim sürecini destekleyici fonksiyonlar bulunur. Bu fonksiyonlar özetle; üretim öncesi sipariş yönetimi, üretilen ve tüketilen ürün yönetimi, malzeme durum bilgisi, hat duruş süreleri yönetimi, vardiya bilgileri yönetimi, ekipman yönetimi, reçete yönetimi, üretim sırasındaki kritik değerlerin toplanması ve raporlanması şeklinde sıralanabilir.

Bu temel fonksiyonların yanında Seviye 2 sistemleri; çok olasılıklı reçete yönetimi, giren her malzemeye özel matematik model hesaplamaları, üretim sonucuna bağlı olarak öğrenme ve adaptasyon gibi işlemleri de gerçekleştirebilmektedir. Özellikle bu fonksiyonların kullanımının kaçınılmaz olduğu karmaşık üretim hatlarında, Seviye 2 sistemleri otomasyon çözümünün vazgeçilmez bir parçasıdır.

Seviye 1'de olduğu gibi bu seviyede de üretilen çözümler proses tipine ve makineye özel olarak tasarlanmaktadır. Teknoloji sağlayıcıları, sahip oldukları proses know how ile Seviye 2 yazılımlarını oluşturmaktadırlar.

Seviye 2, model bazlı süreç kontrolü yapan, gerçek zamanlı çalışan ve uzman sistemlerdir. Bilgisayar ile bütünleşik bu üretim sistemleri, verimliliği artırarak, operasyonlar arası işlem bekleme sürelerini azaltarak, hammadde ve enerji tüketimini en aza indirgeyerek, kalite ve üretim rakamlarını maksimize ederek firmaların rekabet gücünü arttırmaktadır. (CIMS: Computer Integrated Manufacturing Systems).

Literatürde "Supervisory Control and Data Acquisition Systems" olarak bilinen İleri Seviye Proses Kontrol Sistemleri'nin karşılığı Seviye 2 sistemidir. Üst seviyelerden alınan üretim planlama bilgileri ile proses kontrol fonksiyonlarını birleştirerek hedeflenen siparişin üretilmesi için kullanılır. Üretimin, kalite ve maliyet gibi unsurlar açısından optimize edilmesi için hesaplamalar ve kontroller içerir. Hesaplamalarda genel olarak matematik modeller kullanılır ve tesis için gerekli set değerleri üretilir (haddeleme yükü, gergi değerleri, yüksek fırına şarj edilmesi gereken yakıt gibi). Hesaplamalar yapılırken kullanılan temel girdiler, Seviye 3 sisteminden alınan malzeme ve sipariş ilişkin bilgiler, Seviye 1'den alınan hat/tesis koşulları ya da laboratuvarlardan alınan analiz bilgileri

olabilir. Bu sebeple, Seviye 2 sistemi hem alt/üst seviye verilerini kullanır hem de diğer Seviye 2 sistemleri/laboratuvar sistemleri gibi yatay seviyelerden temin ettiği verileri kullanır.

Seviye 2 sistemleri, yapay sinir ağları (neural network), bulanık mantık (fuzzy logic), genetik algoritma gibi akıllı problem çözme ve optimizasyon algoritmaları gibi yazılım mühendisliği prensipleri ile üretim sırrı olarak da adlandırılan teknik bilgi (know how) kullanılarak ilgili tesislere özgü geliştirilmektedir. Her bir set hesabı; ilgili tüm ekipmanlar, kullanılan yarı mamul ve ürün kaliteleri gibi etkenler göz önünde bulundurularak ayarlanmaktadır. Ayrıca, model hesaplamalarının öğrenme yetisi sayesinde, üretim sonuçlarında yaşanan sapmalar da saptanarak, yeni koşullara adaptasyon sağlanmaktadır.

Proses kontrolü, sahadan alınan gerçek üretim verileri, döküme ait plan ve pratik bilgileri ile birleştirilerek gerçek zamanlı olarak yapılır. Bu şekilde üretim prosesleri, optimum verimle çalıştırılarak, hatlardan en yüksek kalitede kusursuz ürün çıkartılması sağlanır.

### 4. Çubuk Kangal Haddehanesi Seviye 2 Kurulumu

Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde proses/ürün izlenebilirliğini sağlamak ve geriye dönük raporlama işlemi gerçekleştirebilmek amacıyla kurulan Seviye 2 sistemi ile Çubuk Kangal Haddehanesindeki mevcut hattın fırın öncesi stok sahasından itibaren, malzemenin çıkışta paketlenmesi ile son bulacak izleme, raporlama ve yönetme işlemi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Seviye 2 sistemi kapsamında hazırlanan yazılım sayesinde; üretim planlama, hammadde malzeme durum bilgisi, ekipman yönetimi, enerji sarfiyatı kontrolü gibi temel fonksiyonların yanı sıra, giren her malzemeye ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçlarına göre, bu veriler konsolide edilerek üretim gerçekleştirilmektedir.

Çubuk ve Kangal Haddehanesinde uygulanan bu projede, Seviye 2 sistemi, üretimin herhangi bir aşamasında oluşabilecek hataları öngörmektedir. Dolayısı ile hataların önceden tespit edilmesi önlem alınması hususunda önem arz etmekte ve Kardemir'in uluslararası pazara yönelik ürün geliştirme ve rekabet kapasitesini artırmaktadır.

Çubuk Kangal Haddehanesi Seviye 2 Projesi; tasarım, yazılımın satın alma süreci, kurulum süreci, test ve devreye alma süreçlerini kapsamaktadır.

### 5. Seviye 2 ile SAP/ERP Entegrasyonu

Otomasyon seviyelerindeki her katman diğer seviyelerdeki verilere ihtiyaç duymaktadır. ERP sistemi saha verileri olan stok, hat durumu, üretim-tüketim gibi verilere, seviye 2 sistemi ise üretim siparişleri, malzeme kodları ve laboratuvar verilerine ihtiyaç duymaktadır. ERP ve seviye 2

sistemi arasındaki veri alışverişi ile iki yönlü haberleşme şeklinde gerçekleşmektedir. İki yönlü haberleşme, ERP ve seviye 2 sistemi veri tabanlarında tutulan veriler ile belirli şartlara bağlı olarak ilgili haberleşme protokolleri kullanılarak sağlanmaktadır.

Seviye 3/4'ten alınan veriler: üretim plan listesi, üretim plan detayı, laboratuvar sonuçları, gelecek döküm bilgisi, duruş kodları ve malzeme bilgileri olarak tanımlanırken Seviye 3/4'e gönderilen veriler: üretim/tüketim bilgileri, tesis duruş bilgileri ve teyitleşme bilgileri olarak tanımlanmaktadır.

### 5.1. Üretim Planı Entegrasyonu

Üretim plan listesi, üretimi gerçekleştirilecek siparişleri sıralı olarak içermekte ve üretim bilgisi ERP sisteminden planlama hazır olunca gönderilmektedir. Üretim plan detayı sipariş bilgilerini içermekte ve üretim planı gönderildiğinde bu bilgiler de görülmektedir. Bu sayede herhangi bir manuel veri girişi olmadan tüm sipariş detayları ilgili seviye 2 kullanıcılarına gönderilerek siparişe başlanması sağlanabilmektedir.

### 5.2. Malzeme Kodu Entegrasyonu

Tüm yazılım sistemlerinde yeknesaklık sağlamak, manuel veri girişlerini ortadan kaldırmak, üretim-tüketim entegrasyonlarında doğru veriler ile iletişim sağlamak amacıyla ERP sisteminde var olan ve yeni üretilecek tüm malzeme kodları ve detayları seviye 2 sistemi üzerinde bulunan ilgili servisler aracılığıyla sisteme alınabilmektedir.

### 5.3. Laboratuvar Entegrasyonu

Mamuller için gerekli yarı mamul analiz sonuçları ve nihai ürünlere ait laboratuvar sonuçları doğrudan ID (identification/yarı mamul kimlik numarası) bazında ERP sisteminden çekilerek tüm aşamalarda ilgililere raporlanarak gerekli işlemler yapılmakla beraber ürün raporlarında da bu sonuçlar yer almaktadır. Böylece tüm üretim raporlarına herhangi bir manuel veri girişi olmadan otomatik olarak laboratuvardaki cihazlardan çıkan sonuçlar entegre olabilmektedir.

### 5.4. Tüketim Entegrasyonu

Nihai üretim sürecinde en önemli tüketim kalemlerinden biri yarı mamullerdir. Ürün izlenebilirliğinde, nihai ürünlerin üretildiği yarı mamullerin takip edilmesi ve bu bilgilerin nihai ürünle eşleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tüketilen her bir yarı mamul tekrar yarı mamul olarak işlenebilecek son aşamadan sonra seviye 2 sistemi tarafından yarı mamul ID bazında ERP malzeme kodu, sipariş numarası, kalite sınıfı vb. diğer bilgiler ile ERP sistemine gönderilerek tüketim işlemleri için gerekli sorgular çalıştırılır. Böylece yine herhangi bir manuel tüketim işlemine gerek kalmaksızın ürün, Şekil 2'de yer alan fırın içi

ekranında gösterildiği gibi yarı mamul ID bazında tüketim işlemi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2. ID bazında yarı mamullerin fırın içi gösterimi

### 5.5. Üretim Entegrasyonu

Nihai mamul olarak üretimi tamamlanan kalemler son aşama olan paketleme noktasında tartım sürecinin tamamlanmasının ardından ilgili ürün izlenebilirliği bilgileri ile birlikte otomatik olarak nihai ürün etiketi (Şekil 3) hazırlanmaktadır. Ürün etiketinin çıkmasının ardından ilgili kalite onay aşamaları ve stok giriş işlemleri için ERP sistemine otomatik olarak üretim teyidi gönderilmektedir.



Şekil 3. Nihai ürün etiketi

### 5.6. Etiket ve Sevkiyat Entegrasyonu

ERP sistemine üretim bilgileri gönderilen ürünlerin depo transfer, sevkiyat, satış vb. ERP süreçleri için herhangi bir manuel veri girişine ihtiyaç olmadan etiket üzerindeki QR kod ile ERP sistemine veriler aktarılmakta ve ilgili ERP süreçleri tamamlanmaktadır. Böylelikle el terminaleri üzerinden sağlanan entegrasyon, hatalı veri girişleri, hatalı ürün sevkiyatı, uzun süren ERP veri girişleri gibi problemlerin önüne geçerek verim artışı sağlayabilmektedir.

### 5.7. Tesis Duruş Bilgisi Entegrasyonu

Seviye 2 sistemi tesisin tüm noktalarından çalışma durum sinyali toplamaktadır. Toplanan bu verilerden tesisin duruşta olduğunu tespit edecek şartların bir araya gelmesi sonucunda seviye 2 sistemi duruş kaydı (Şekil 4) oluşturur. İlgili

kontrollerin ardından duruş sebep kodu, açıklama ve süre bilgileri gibi veriler ile ERP sistemine gönderilebilmektedir.

Seviye2 Id	Başlangıç	Bitiş	Süre (sn)	İşlem
66472	14/03/2022 09:15:29	14/03/2022 09:16:48	78.84	[Ekle]
66471	14/03/2022 09:12:35	14/03/2022 09:14:14	99.69	[Ekle]
66470	14/03/2022 09:03:40	14/03/2022 09:05:27	106.63	[Ekle]
66469	14/03/2022 08:32:47	14/03/2022 09:02:09	1762.60	[Ekle]

Şekil 4. Duruş ekranı

### 6. QR Kod / Data Martix Kodların okunması ve İşletilmesi

Ürün izlenebilirliği için nihai ürünlerin üretildiği yarı mamullerin takip edilmesi ve bu bilgilerin nihai ürünle eşleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tav fırınına giren her bir yarı mamulün üzerindeki bilgiler (Şekil 5) okutulurak bir ürün numarası ile seviye 2 sistemine aktarılmaktadır. Aktarılan bu veriler ilgili ID'nin tüm sürecinde kullanılarak ürün kartında saklanmaktadır.



Şekil 5. Yarı mamul üzerinde bulunan QR kod örneği

### 7. Sistem Çalışma Mimarisi ve Güvenliği

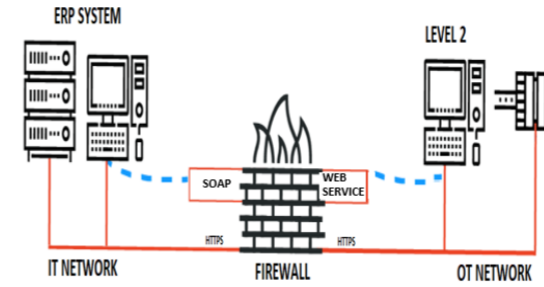
Programda yazılım dili olarak C# tercih edilmiştir. Sistemde veri tabanı olarak ise MS SQL kullanılmıştır. Raporlama için MS Report Viewer, Web bazlı raporlama ASP.NET MVC ile gerçekleştirilmiştir. SAP haberleşme web servis haberleşme şeklinde, tesis bilgileri seviye 1 haberleşmesi ile seviye 2 sistemine aktarılmıştır.

Seviye 2 sistemleri yapısı gereği hem üretim teknolojileri diye adlandırılan OT ile hem de bilgi teknolojileri olarak adlandırılan IT ile haberleşmek ve eş zamanlı çalışmak durumundadır. Eş zamanlı çalışmalar sistemlerin birbirleri ile herhangi bir protokol ile haberleşmeleri gereksinimini

ortaya çıkarmaktadır. Genellikle bu haberleşmeler TCP/IP üzerinden yapılmaktadır.

Sistemlerin herhangi birinde oluşabilecek siber zafiyet sonucunda hem üretim hattı hem de bilgi teknolojileri olumsuz etkilenebilecektir. Oluşabilecek zafiyet olasılıklarını en aza indirebilmek için çeşitli güvenlik uygulamaları yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmalardan en önemlisi seviye 2 ile IT ağı arasında donanımsal ve yazılımsal güvenlik duvarı konumlandırılarak (Şekil 6) izin verilen kurallar ve uygulamalar haricinde herhangi bir çift ya da tek yönlü trafığe izin verilmemiştir. Yapılan bir diğer çalışma ise ERP sistemi ile seviye 2 sistemi haberleşmesi HTTPS protokolü üzerinden SSL sertifikaları ile sağlanmıştır. Bu sayede haberleşen tarafların kimlik doğrulamaları yapılarak iletilen veri şifreli olacak şekilde haberleşme sağlanmaktadır.



Şekil 6. Seviye sistemleri network topolojisi

### 8. Raporlama

Raporlama kısmı ayrı veya her bir ekrana entegre olarak değerlendirilmektedir. Her bir kısımda öngörülen temel bilgilerin görüntülenmesi sağlanmakla beraber özet bilgilerin liste bazlı veya malzeme/ürün bazlı gösterilmesi ve çıktı alınması için bir tasarım sunulmaktadır. Bunlar temel olarak aşağıdaki kısımları kapsamaktadır:

- Sipariş raporu,
- Döküm bazlı rapor,
- Hurda/ret raporları,
- Üretim planı raporu,
- Ürün listesi raporu,
- Ürün detay raporu,
- Vardiya raporları,
- Tüketim raporları,
- Duruş raporları,
- Merdane raporları,
- Kullanım raporları.

### 9. Sonuç

Bu çalışmada, Kardemir Çubuk ve Kangal Haddehanesinde proses kontrolünü sağlamak ve geriye dönük raporlama işle-

mi gerçekleştirebilmek amacıyla kurulan Seviye 2 sistemi incelenmiştir. Proses kontrolü, sahadan alınan gerçek üretim verileri, döküme ait plan ve pratik bilgileri ile birleştirilerek gerçek zamanlı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde Çubuk Kangal Haddehanesi üretim prosesinin operasyonlar arası işlem bekleme süreleri azaltılarak optimum verimle çalıştırılması ve üretim hattından en yüksek kalitede kusursuz ürün elde edilmesi sağlanmıştır.

### Referanslar

- [1] Çömlekçi, Oğuzhan Endüstriyel otomasyon sistemlerinde yapay zeka yöntemleri ile arıza tespiti Diss. Bursa Uludağ University, 2020.
- [2] Kayar, Adem, Berk Ayvaz, and Fatih Öztürk. "Akıllı fabrikalar, akıllı üretim: endüstri 4.0'a genel bakış." International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech). 2018.
- [3] KILIÇ, Halil, and Mustafa TİMUR. "Üretim Takip Sistemleri ve Kavramsal Veri Analizi ile Dijital Fabrika Oluşumu." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 33: 285-289.
- [4] Edgar, Thomas F., ve Efstratios N. Pistikopoulos. "Smart Manufacturing and Energy Systems". Computers & Chemical Engineering, c. 114, Haziran 2018, DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.10.027>.
- [5] <<https://www.kardemir.com/dosyalar/satispazarlama/urun-katalogu/kardemir-urunler.pdf>> Tarih: 30.12.2021
- [6] KARDEMİR AŞ., "HADDELENMİŞ MAMUL ÜRETİM SÜRECİ", 2020.
- [7] <<https://www.innova.com.tr/tr/blog/dijital-donusum-blog/endustriyel-otomasyon-nedir>> Tarih: 24.01.2022
- [8] <<https://www.leuzetrblog.com/endustri-4-0-uygulamasinin-ncusu-leuze-elektronik/>> Tarih: 28.01.2022

## Kardemir Dijital Dönüşüm Süreci: SAP S/4 HANA Sistemine Geçiş

Kardemir Digital Transformation Process: Transition to SAP S/4 HANA System

◆  
**Nazmi SARIKAYA, Hande VURŞAN, Özgür SICAKYÜZ, Aysun IŞIKGÜL, Burak KOŞAR**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In order for companies to survive in a highly competitive environment, it is important to meet customer demands with high quality and on time by reducing their costs. While meeting customer demands in a competitive market, it is inevitable for business processes to be sustainable and interactive. In line with this goal, companies use Enterprise Resource Planning (ERP) software for effective and efficient management of operational activities and business processes. The digital change and technological developments in the world, the efficiency of the software used and the level of meeting the needs of changing business processes were insufficient. This status an important digital transformation opportunity for companies. Kardemir has decided to transform the SAP system actively used since 2008 to the SAP S/4 HANA system with the highest technology. In the first and only digital transformation project carried out in the iron and steel industry in 2020; financial and logistics processes were completely redesigned and the system was operated. The use of cloud systems in the field of management reporting, human resources and education has been integrated into the process.

### Özet

İşletmelerin, ağır rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için, üretim maliyetlerini minimize ederek; müşteri taleplerini istenilen kalitede, miktarda ve tam zamanında karşılamaları önem arz etmektedir. Rekabetçi pazarda talepler karşılır iken, eş zamanlı olarak iş süreçlerinin sürdürülebilir ve birbirleri ile etkileşimli olarak tasarlanması kaçınılmazdır. Bu hedef doğrultusunda işletmeler; operasyonel faaliyetlerinin / iş süreçlerinin etkin ve verimli yönetimi için, Kurumsal Kaynak Planlama (ERP-Enterprise Resource Planning) yazılımları kullanmaktadır. Dünyadaki dijital değişim ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda, kullanılan yazılımların etkinliği ve değişen/gelişen iş süreçlerine ait ihtiyaçları karşılama düzeyi yetersiz kalabilmektedir. Bu durum şirketler için önemli bir dijital dönüşüm fırsatı oluşturmaktadır. Kardemir, katma değeri yüksek ürün üretim hedefi doğrultusunda, değişen iş süreçlerinin dijital olarak yeniden tasarımını sağlayabilmek için, 2008 yılından bu yana aktif olarak kullandığı SAP sistemini, teknolojsi en yüksek ve güncel SAP S/4 HANA sistemine dönüştürme kararı almıştır. Demir çelik

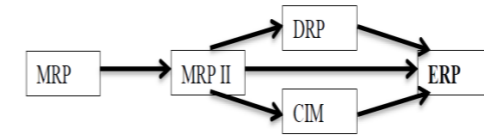
sektöründe 2020 yılında kapsam olarak ilk ve tek olarak gerçekleştirilen dijital dönüşüm projesinde; mali ve lojistik süreçler baştanbaşa yeniden tasarlanarak sistem devreye alınmıştır. Yönetim raporlamaları, insan kaynakları ve eğitim alanında bulut sistemlerinde kullanımı sürece entegre edilmiştir.

### 1. Giriş

1960'larda üretim sistemleri, envanter kontrolüne odaklanmış ve genellikle iş için tasarlanmış yazılım paketleri, geleneksel kavramlara dayalı kayıtlar sağlamıştır. Malzeme gereksinimlerini hesaplayan malzeme ihtiyaç planlama (MRP) yazılımları 1970'lerde popüler hale gelmiştir [1-4].

İşletmelerin sistemlerden beklentileri artmış ve MRP sistemleri ihtiyaçları karşılamakta yetersiz hale gelmeye başlamıştır. 1970'lerin sonuna doğru ise MRP sistemlerine eklemeler ve geliştirmeler yapılarak Üretim Kaynakları Planlaması (Manufacturing Resources Planing-MRP II) sistemleri geliştirilmiştir [2].

Etkin bir üretim planlama aracı olarak görülen MRP II; firmaların, karlılık ve müşteri memnuniyeti gibi amaçların sadece üretimi değil, tüm kurumu ilgilendiren kavramlar olduğunu anlamasını sağlayıp finans, satış, dağıtım ve insan kaynakları işlevlerinin de dâhil olduğu entegre sistemlere gereksinim duymalarına neden olmuştur. Bu arada, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretimin birleşmesi anlamına gelen Bilgisayarla Bütünleşik Üretim (Computer Integrated Manufacturing, CIM) sistemleri ve firmaların ürün dağıtım kanallarını yönetmelerini sağlayan Dağıtım Kaynakları Planlaması (Distribution Resource Planning, DRP) sistemleri ortaya çıkmıştır. 1990'lı yılların başından günümüze, bu kavramların tamamını kapsayan bütünleşik bir kurumsal çözüm olarak, yalnız üretim değil aynı zamanda hizmet sektörüne de destek verebilen Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) yazılımları ortaya çıkmıştır [3].



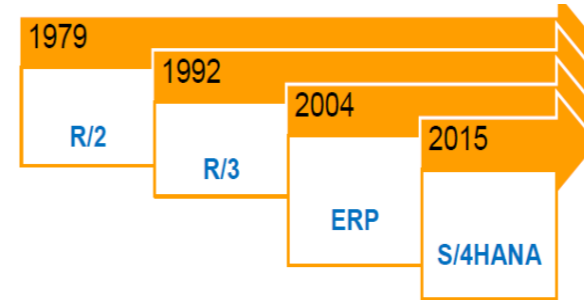
1950 1960 1970 1980 1990 2000 (Yıllar)

Şekil 1. Kurumsal kaynak planlamasının tarihsel gelişimi [2].

ERP, bir şirketin tüm departmanları ve fonksiyonlarının, ihtiyaçlarına hizmet edebilecek tek bir bilgisayar sistemi üzerinde entegre etmeye çalışan bir yazılım paketidir [5].

Dünya çapında ERP yazılım pazarında faaliyet gösteren firmalar arasında SAP, Oracle, Microsoft, Infor, IFS, IBM, Epicor, Software Corporation, Workday, The Sage Group yer almaktadır [6].

SAP, merkezi Walldorf, Almanya'da bulunan, Avrupa'nın en büyük yazılım şirkettir. SAP, 1972 yılında beş eski IBM çalışanı tarafından "Systems Analysis and Program Development" adı altında Mannheim, Almanya'da kurulmuştur. 120'den fazla ülkede aktif olan SAP, şirket yazılım uygulamalarını çeşitli büyüklükte firmalara sunmaktadır. 1973 yılında SAP R/1 ve 1979 yılında SAP R/2'yi piyasaya sürmüştür. Ancak SAP'nin büyümesi 1985 yılından itibaren başlamıştır [7].



Şekil 2. SAP sisteminin tarihsel gelişimi [8]

SAP HANA, şirket içi donanım (On Prem) veya bulutta dağıtılabilen bir bellek içi veri platformudur. Gerçek zamanlı analitik uygulamalar geliştirmek ve dağıtmak için devrim niteliğindedir [9].

Bu çalışmanın amacı, Kardemir'de kurulu olan SAP R/3 yapısının güncel ihtiyaçlara göre yeniden tasarlanması, mevcut otomasyon sistemlerimiz ile entegrasyonu, mobil cihazlar üzerinden 7/24 yönetim raporlarına erişim ve ürün izlenebilirliğini sağlayacak SAP S/4 HANA sistemine geçiş yapmaktır.

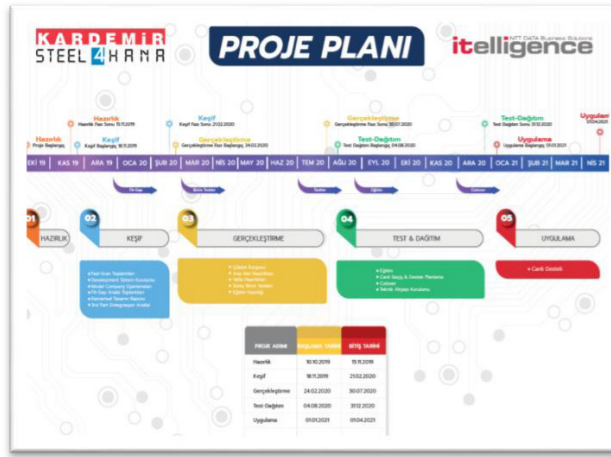
### 2. Çalışmalar

SAP S/4 HANA sistemine geçiş için yönetsel karar sonrasında ilk olarak proje KPI'ları belirlenmiştir:

- Hızlı ve stratejik kararlar alınmasını sağlayacak yönetici ekranları ve raporları hazırlamak,
- Kullanıcı dostu ekranlarla veri girişlerini daha basit ve hızlı hale getirmek,
- Mobil cihazlar üzerinden 7/24 online sistem erişimi sağlamak,
- Ürün izlenebilirliği sağlanarak kalite, stok ve maliyet verilerinin anlık takibini yapmak,
- İştiraklerimizi SAP süreçlerine dahil ederek finansal tablolarda konsolidasyonu sağlamak,
- Yeni modülleri devreye alarak iş süreçlerini daha verimli ve hızlı hale getirmek,
- Ana veriler üzerinde veri temizliği ve standart formatlarda tanımlamaktır.

Projede, hiyerarşik bir yapı uyarlanarak ekip üyeleri belirlenmiş ve atanmıştır. Fabrika genelinde, Yönlendirme Komitesi (8), Koordinasyon Ekibi (15), Süreç Liderleri (35) ve Anahtar Kullanıcılar (162)'dan oluşan toplam 220 kişi projede aktif olarak çalışmıştır. Projemizde SAP danışman firmamız olarak görev alan NTT DATA Business Solutions Türkiye firmasının 60 SAP danışmanı da yer almıştır. Proje, finans, muhasebe, bütçe planlama, satın alma, satış ve dağıtım, tedarik zinciri, üretim, üretim planlama, kalite kontrol, , eğitim, Ar-Ge ve insan kaynakları yönetimi süreçlerini kapsamaktadır. İştirak firmamız Enbatı Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de proje kapsamında yer almıştır.

Kardemir dijital dönüşüm projesi (Kardemir Steel4HANA), 21.10.2019 tarihinde düzenlenen toplantı ile başlamış ve bir yılı aşkın bir süre sonunda, 01.01.2021'de (438 gün) hayata geçmiştir. Bu süreçte, fabrikamızda farkındalık yaratmak ve projenin aşamalarını izlemek için hazırlanan proje planı, billboardlara dönüştürülerek fabrika sahası içerisinde yer alan kritik noktalara asılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Proje Planı.

Proje kapsamında mevcut SAP modüllerine ek olarak birçok yeni modül devreye alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Devreye alınan modüller

Logistics	Financial	HR	Analytics
SD	FI	HR-Payroll	BPC
PP	AA	* Personal Data Protection	BO
MM	FM	* SF - EC	BW
PM	* CM	* SF - PM / GM	* SAC
QM	* TRM	* SF - LMS	itelligence Apps
* aATP	* IM	* SF Succession & Dev.	it.Metal Model Company
* PP/DS	CO-PCA	CRM	it.mds
* eWM	CO-CEL	Sales Cloud	it.Foreign Trade
* MII	CO-PC	Marketing Cloud	it.Capacity Planning
* PS	CO-OPA		E- Solutions
	* CO-PA		

\*Yeni devreye alınan modüller

Satış ve Dağıtım (SD) modülünde, satış ve sevkiyat süreçlerinin etkin biçimde yönetilmesi sağlanırken, fiyatlandırma koşulları esnek şekilde tanımlanmaktadır. Teklif takipleri ve müşteri sözleşmelerinin yönetilmesi sağlanmaktadır. Müşteri İlişkileri Yönetimi (C4C & Sales Cloud), şirketimizin müşterileriyle etkileşimlerini, satış beklentilerini yönetmek ve beslemek için kullanılan bir stratejidir. Süreçleri organize etmek, otomatikleştirmek ve senkronize etmek için bulut tabanlı teknolojiler kullanılmaktadır.

Satın Alma ve Stok Yönetimi (MM) modülü, şirketin malzeme ihtiyaç planlama, satın alma, stok yönetimi, lojistik ve fatura yönetimine ilave olarak iş akışına dayalı işlemleriyle tüm satın alma süreçlerini optimize etmemizi sağlamaktadır.

Bakım Onarım (PM) modülü, bakım onarım süreçlerini sistem üzerinden takip etmemizi sağlarken bakımı yapılan her türlü ekipmanın arıza ve planlı bakım işlemleri bu modül ile yönetilmektedir. Kalite Yönetimi (QM) modülü, esas üretim tesislerimizde üretilen yarı mamul ve nihai ürünlerin döküm bazlı kalite uygulamalarının yapılabildiği modüldür. Döküme ait analiz sonuçları ve bu analiz/numune sonuçlarının hedef analizlere uygunluğu döküm bazında SAP sistemimizde yapılabilmektedir. Müşteri istek ve şartlarının daha iyi takip edilebilmesi amacıyla şartname yapısı SAP sürecine dahil edilmiştir. Mamul sevkiyatlarımız sonrasında mamullere ait ürün sertifikaları (Mill Test) sistem üzerinde otomatik oluşturularak müşterilere iletilimi sağlanmaktadır.

İK Organizasyon Yönetimi, Özlük İşleri ve Bordro (HR) modülü, bir işletmenin işe alma sürecinden başlayarak, personel ile ilgili olabilecek tüm süreçlerini içerir. Personelin her türlü verisini saklayabilir, firma içi ve firma dışı eğitim ve aktiviteleri organize edebilir, bordro ve yasal raporlarını çıkartabilir, değerlendirmelerini yapabilir, ücretlerini yönetilmesini sağlayabilmektedir. Kariyer haritaları tanımlayarak kariyer planları yapabilir, gelişim planlaması ile oryantasyon ve diğer gelişim süreçlerinizi otomatize edebilmektedir. Ayrıca, Bulutta İnsan Kaynakları Yönetimini (Success Factors SF) sağlayan insan kaynakları personel gelişimi ve aynı zamanda temel insan kaynakları süreçlerinin yönetildiği modül devreye alınmıştır.

Mevcut Seviye-2 sistemleri ile S/4 HANA ERP sistemi arasında entegrasyon yapılması amacı ile Üretim Entegrasyon ve İzleme (MII) modülü kullanılmıştır. MII çözümü kullanılarak üretim sahasında gerçekleşen fiili operasyonel verilerin toplanması ve bu operasyonel verilerin S/4HANA ERP sistemine aktarılması sağlanmıştır. Bu sayede ürün izlenebilirliği ve fiili operasyonların durumu anlık olarak takip edilebilmektedir. Proje kapsamında 25 farklı iş biriminden MII sistemi ve Kardemir otomasyon sistemleri arasında entegrasyon kurulumu sağlanmıştır. Çelikhane ve Sürekli Döküm tesislerimize ait online üretim takip ekranları oluşturulmuştur. Tav firmı girişlerine yerleştirilen karekod okuyucu kameralar sayesinde, firma şarj edilecek yarı mamul kalite bilgilerinin üretim planına uygunluğu anlık olarak kontrol edilmektedir. Bu kontroller üretim sırasında hatalı yarı mamul kullanımını ve insan hatasını ortadan kaldırmaya yönelik olarak tasarlanmıştır. SAP Genişletilmiş Depo Yönetimi (EWM) modülü, depo yönetimi fonksiyonları ve süreçleriyle depo kompleksi içinde çeşitli mal hareketlerini işleme ve stokların yönetiminde esnek ve otomatik destek sunmaktadır. Sistem planlı ve verimli bir sistem için tüm depo süreçlerini desteklemektedir.

Proje Yönetimi PS & IM'nin SAP sistemine entegrasyonunu kullanarak, Ar-Ge ve yatırım projelerinin izleme bütçelerini planlamakta ve dağıtmaktadır. IM, SAP'de program yönetimini etkinleştirmek için tasarlanmış bir araçtır. SAP tarafından bu bağlamda tanımlanan program yönetimi, proje ödenek yönetimi ve bütçe yetkilendirmeleri dahil olmak üzere maliyetleri planlama ve kontrol etmek amacıyla birçok projenin üstünde bir hiyerarşi tanımlama süreci anlamına gelmektedir.

Kardemir üretim yönetimi için Üretim Planlama (PP) ve Üretim Planlama Çizelgeleme (PP-DS) modülleri devreye alınmıştır. PP Modülü, bir ürünü veya bileşen grubunu oluşturan bileşenlerin detaylı olarak oluşturulan ürün ağaçları, bir ürünü üretmek için uygulanacak işlemleri, bu işlemlerin sıralamasını, gerçekleştikleri iş yerlerini ve gerekli süreleri barındıran iş planları yardımı ile üretim ve planlama faaliyetleri gerçekleştirmektedir. PP-DS ise malzeme ihtiyaç planlaması, sonlu çizelgeleme, hazırlık sürelerinin minimizasyonu gibi bir takım ileri üretim planlama ve çizelgeleme çözümlerini içeren modüldür.

Günümüzde tüm işlemlerin online dönüşmesi ile e-Fatura, e-Defter ve e-Arşiv modülleri de bu kapsamda devreye alınmıştır. 397 Sıra No'lu Vergi Usul Kanunu Genel Tebliğin yayımı ile birlikte e-Fatura uygulaması, faturalarımızı göndermek ya da almanın yanı sıra, SAP platformunuzla entegre çalışarak süreçlerinizi tek bir platform üzerinden yönetmenize olanak veren bir sistemdir. e-Defter çözümü, SAP sistemine tam entegre olup defter-i kebir ve yevmiye defterlerinin kopyasını alarak beratlarını oluşturan ve gönderime hazır hale getiren bir sistemdir. e-Arşiv ise Gelir İdaresi Başkanlığı'nın belirlediği standartlara uygun olarak faturanın elektronik ortamda oluşturulması, elektronik ortamda muhafazası, ibrazı ve raporlamasını kapsayan bir uygulamadır. e-Arşiv Tebliği kapsamında, Gelir İdaresi Başkanlığından e-Arşiv uygulaması izni alan mükellefler, elektronik ortamda oluşturdukları faturayı elektronik ortamda muhafaza edebilirler. Elektronik ortamda oluşturulan faturanın, alıcısına kağıt olarak gönderilen veya elektronik ortamda iletilen şekli belgenin aslı, düzenleyen tarafından muhafaza edilen elektronik hali ise ikinci nüsha hükmündedir.

Mali Muhasebe (FI) modülü, verilerin birden fazla modül ile entegre bir şekilde kayıt edilmesi ve bu kayıtların saklanması aynı zamanda da finansal veriler üzerinden planlama kontrol ve stratejik kararlara alt yapı sağlayacak finansal raporların alınmasını sağlamaktadır.

Hazine ve Risk Yönetimi (TRM) modülü, bir şirketin finansal işlemlerinin ve ilgili risk pozisyonlarının genel ve detaylı bilgisinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu şekilde yapılan işlemlere ilişkin olarak net ve etkili kararların verilmesine yardımcı olur. Vadeli İşlemler, Krediler, Döviz Alış-Satış İşlemleri, Teminat Mektupları, Türev İşlemleri; TRM modülünde takip edilebilen başlıca süreçlerdir. Bu

süreçler, FI modülü ve CO modülü ile entegre çalışarak muhasebeleştirilirler.

Kurumun hedeflere ulaşırken etkili olması için, planlamanın yanı sıra bütçeleme, tahmin, analiz, yasal yönetim raporlaması için güvenilir, güncel ve işlevsel verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple oluşturulan Bütçe Planlama ve Konsolidasyon (BPC) modülü sayesinde stratejik planlar doğrultusunda operasyonel bütçeleri belirlemek, şirket ve departman bazındaki planlamaları sorunsuz bir şekilde bir araya getirerek, maliyet senaryolarını akıllıca modelleme ve duyarlılık analizleri gerçekleştirebilmektedir. İş kârlılığın maksimum düzeye çıkarabilir, risk ve uyumluluğu yönetebilir, şirketin tüm sistemleri, çalışanları ve süreçleri optimize edilmesini sağlayabilmektedir.

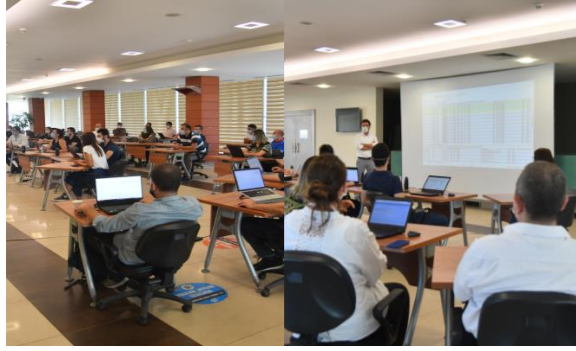
Devreye alınan modüllere ilave olarak, laboratuvarlarımızda gerçekleştirilen deney ve analizlere ait sonuçların SAP sistemine entegrasyonu sağlanmıştır.

Stok sahalarımızda adres sistematığı oluşturularak, envanterimizde yer alan stoklarımızın barkod etiketlemeleri yapılmıştır. Depolar arası stok hareketlerinin adresli sahalar üzerinden kare kod okuyucu cihazlar ile yapılması sağlanmıştır.

Kardemir bünyesinde yazılmış Tartım Yönetim (TYS) ve Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) sistemleri SAP S/4 HANA sistemine dahil edilmiştir. YYS sisteminin SAP sistemi içinde yeniden kurgulanması ile sevkiyatı gerçekleştirilecek mamullerimize ait araç yüklemelerinin kare kod okuyucular ile yapılması sağlanarak, kantarlarda tartımı yapılan tüm araçlara ait bilgilerin SAP sisteminde takibi sağlanmıştır.

Üretilen tüm ürünlerde kare kodlu akıllı etiketlerin kullanılması ve bunların okutulması ile üretim ve tüketim değerlerinin SAP sistemine otomatik olarak gelmesi sağlanmıştır. Bu sayede üretilen etiketli mamullerin döküm bazında takibi de yapılabilmektedir. Müşteri tarafından talep edilen ürünlerin üretimi esnasında gerekli olan özel karakteristiklerin yer aldığı şartnamelerin işletmelerin görebileceği Seviye-2 ekranlarına aktarılması sağlanmıştır.

Modüllerin devreye alınması esnasında kurulan proje ekiplerinin çalışmaları Eğitim Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Proje ekibi çalışmaları.

### 3. Sonuçlar

Kardemir'de 2019 yılında başlayan dijital dönüşüm projesi SAP S/4 HANA, Ocak 2021 tarihinden itibaren başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Proje boyunca:

- 119 adet özel süreç analiz edilmiş ve kavramsal tasarım belgeleri hazırlanmıştır,
- 595 SAP Kullanıcısı, 65 SAC Kullanıcısı, 266 MII Kullanıcısı, 4.134 SF Kullanıcısı tanımlanmıştır,
- 10.168 adet depo adresi tanımlanmış ve 16.700 adet malzeme etiketlenmiştir,
- 54.700 ana veri malzemesi temizlenmiştir,
- 67.000 malzeme ve 250.000 ton bitmiş ürün stoğu başlangıca transfer edilmiştir,
- 222.000 adet malzeme değerlendirme türüne göre tanımlanmıştır,
- 7.500 entegrasyon kaydı oluşturulmuş ve aktarılmıştır (günlük),
- 25 entegrasyon noktası MII – Kardemir otomasyon sistemleri arasında yapılandırılmıştır.

Projenin gerçekleşmesi ile Kardemir'in geleceği için dijital, ticari ve kültürel dönüşümünde önemli faydalar sağlanmıştır: Teknolojisi yeni ve güçlü bir altyapı, geleceğe yönelik yapay zeka ve makine öğrenimi altyapısı, ana veri temizliği ve yeniden tasarımı ile raporlama ihtiyaçlarının çok hızlı karşılanması, ürün ve süreç bazlı etkin maliyet yönetimi.

### Teşekkür

Demir ve Çelik sektöründe kapsam olarak gerçekleştirilen en büyük dijital dönüşüm projesinin hayata geçirilmesinde öncülük yapmanın gururunu yaşatan, Kardemir A.Ş. Yönetim Kurulumuza, Üst Yönetimimize ve emeği geçen tüm çalışanlarımıza teşekkür ederiz.

### Referanslar

- [1] A. Taşpınar, Türkiye'de ERP Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Oracle & SAP, Y. Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, 2019, İstanbul, Türkiye.
- [2] F. Çelebi, Y. Bulut, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Ve ERP Yazılımı Kullanan Bir İşletmenin İncelenmesi, Akademik Bakış Dergisi, Sayı 57, Eylül-Ekim 2016, Kırgızistan.
- [3] G. Keçek, E. Yıldırım, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve İşletme Açısından Önemi, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, C.8 S.29 (2009), 240-258.
- [4] L. A. Litteral, P. J. RONDEAU, The Evolution Of Manufacturing Planning And Control Systems: From Reorder Point To Enterprise Resource Planning, 2 Production And Inventory Management Journal-Second Quarter, 2001.
- [5] V. Botta-Genoulaz, P. Alain Millet, A classification for better use of ERP systems, Computers in Industry, 56 (2005), 573-587.
- [6] M. Dalkıran, Türkiye'de ERP Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Y. Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, 2021, İstanbul, Türkiye.
- [7] <<https://tr.wikipedia.org/wiki/SAP>> Tarih: 02.02.2022.
- [8] SAP SE Presentation, Introduction to SAP S/4HANA Next Generation Business Suite, SAP UCC Magdeburg, 2017.
- [9] <<https://www.tutorialspoint.com/index.htm>> Tarih: 22.12.2021.

## Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ Enerji Verimliliği Etüt Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Karabuk Iron and Steel Industry Evaluation of Energy Efficiency Studies



Zafer ŞAHİN, Ayşegül USLU, İ. Erdem ERTÜRK, Merve REYHANOĞLU, Nur KARAHAN, Mücahit SEVİM

Kardemir A.Ş. - Türkiye

### Abstract

The demand for energy resources is increasing day by day in parallel with the increase in production and also economic and technological developments. Energy has a significant share in the production costs in the iron and steel industry and is influential at every point of the production process. For the Iron and Steel industry, energy efficiency is a strategic necessity both in terms of protecting the environment and ensuring sustainability and reducing production costs with increasing competition. In this context, energy studies had been carried out to increase and optimize energy efficiency within the production facilities of Kardemir Blast Furnace, Rolling Mills (Bar and Coil Rolling Mill, Rail and Profile Rolling Mill, Continuous Rolling Mill). In this study, within the scope of energy studies, which have a large share in energy consumption; Mechanical and electrical measurements were carried out for pumps, compressors, and fans. By evaluating the measurement results obtained were calculated.

### Özet

Enerji kaynaklarına olan talep üretim artışı ile beraber, ekonomik ve teknolojik gelişmeler ile paralel bir şekilde her geçen gün artmaktadır. Enerji, demir çelik sektöründe üretim maliyetleri arasında önemli bir paya sahip ve üretim sürecinin her noktasında etkilidir. Demir Çelik sektörü için enerji verimliliği, hem çevrenin korunması ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından hem de artan rekabetle birlikte üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından stratejik bir ihtiyaçtır. Bu kapsamda Kardemir AŞ üretim tesisleri olan Yüksek Fırın ve Haddehaneler (Çubuk ve Kangal Haddehanesi, Ray ve Profil Haddehanesi, Kontinü Haddehane) bünyesinde enerji verimliliğinin artırılması ve optimize edilmesine yönelik enerji etütleri yapılmıştır.

Bu çalışmada enerji etütleri kapsamında enerji tüketiminde büyük payı olan; pompalar, kompresörler ve fanlara yönelik mekanik ve elektriksel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirilerek, enerji verimliliği projelerinin sağlayacağı tasarruf, yatırım maliyetleri ve geri dönüş süreleri hesaplanmıştır.

### 1. Giriş

Dünyada gelişmiş ülkeler için enerji üretiminin yanında enerji tasarrufu kavramı, ülkenin gelişmişlik seviyesini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Ulusal çapta firmaların birbirleri ile rekabet edebilme gücü, ürünlerin maliyetlerinin azaltılmasına bağlıdır. Maliyetler içinde tasarruf yapılarak verimlilik elde edilebilecek girdi, enerjidir. Enerji verimliliği, gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını mümkün olduğunca önlemek, enerjiye dönüşebilecek atıkların geri kazanımı, ileri teknolojilerin kullanılarak enerji ihtiyacının azaltılması gibi çalışmaların bütününe kapsayan bir politikadır [1]. Enerji, gereksinimleri bakımından gruplandırıldığında elektrik enerjisi ve ısı enerjisi ön plana çıkmaktadır. Hem elektrik enerjisi hem de ısı enerjisini en çok kullanan sektörlerin başında demir çelik sanayisi gelmektedir [2]. Demir çelik sektörünün Türkiye'deki toplam enerji tüketimindeki payı %7.5, sanayiler arasında enerji tüketimi payı ise ortalama %22.9'dur [3]. Demir çelik sanayilerinde enerji tüketimi yoğun olan tav fırınları, sobalar, pompa ve fanlar gibi makine ve ekipmanlarda enerji verimliliği etüdü çalışmaları yapılmaktadır [4]. Enerji verimliliği konusunda literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Uzun ve Değirmen, yaptıkları çalışmada endüstriyel işletmelerde enerji verimliliğini artırmak için kullanılan enerji yönetim sistemlerini ve enerji etütlerini incelemiştir. Çalışmada, endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği sağlamak için "ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi"nin iyi bir şekilde izlenerek yasal mevzuatlar çerçevesinde enerji etütleri yapılması gerektiği belirtilmiştir [5]. Si ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada bir çelik fabrikasının enerji verimliliğini incelemek amacıyla ölçümler yapmışlardır. Tav fırınında enerji verimini %60, enerji kaybını ise %29,5 oranında baca gazından kaynaklı olarak tespit etmişlerdir [6]. Şenol ve Karakuş, yaptıkları çalışmada bir demir çelik firmasında sürekli döküm tesisinde bulunan soğutma sistemindeki pompaların enerji verimliliğini araştırmışlardır. Emme hattı üzerinde filtre, ilave boru montajı, kolektör gibi ekipmanlarda iyileştirmeler yapılarak elektrik sarfiyatı %59 oranında düşürülmüştür [7]. Literatürde yer alan benzer çalışmalar göz önüne alındığında, yasal mevzuata uygun olarak gerçekleştirilen

enerji etütleri ile verimlilik sağlanarak günümüz rekabet ortamı ve artan enerji fiyatları ile mücadele edilebilir. Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ fabrika sahasında kayıp/kaçakların önlenmesi ve potansiyel tasarruf noktalarının tespit edilerek enerji verimliliğinin artırılması amacıyla işletme sahalarına yönelik pompa, fan, yüksek fırın sobaları, baca gazı analizleri, sıcaklık ölçümleri, sıcak yüzeylerde ısı kaybının tespiti ve yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yüksek fırın sobalarında ısı ve yanma verimliliği için gaz, haddehane tav fırınlarında baca gazı ve atık ısı ölçümleri yapılmıştır.

Ölçüm işlemleri sonucunda potansiyel enerji ve mali tasarruf noktaları, yatırım maliyetleri ve geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Bu sayede verimlilik artırıcı projeler ve iyileştirme uygulamaları ile üretim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

## 2. Haddehane Tav Fırını Analizleri

Sıcak haddeleme işlemlerinin yapıldığı Kardemir haddehanelerinde yarı mamullere ısı işlem uygulandığı tav fırınları kullandığı enerji değerlendirildiğinde maliyet bakımından ilk sırada yer almaktadır. Tav fırınlarında enerji verimliliğini arttırmak için belirli periyotlarda enerji geri kazanım ya da enerji tüketim optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır [8].

Tav fırınlarında verimliliği etkileyen başlıca faktörler; eksik yanma, hava yakıt oranı, baca gazı sıcaklığı, reküperatörler, duvar kayıpları, tufal kayıpları, soğutma suyu kayıpları, açıklık kaybı, yakıt cinsi, yakıcılar, kütük şarj sıcaklığı şeklinde sıralanabilir [9].

Enerji etütleri çalışmasında Kardemir bünyesinde bulunan 3 ayrı haddehaneye ait tav fırınlarında baca gazı ve atık ısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tav fırınlarının yüzeyinde ısıtım ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kayıpları için ölçümler yapılmıştır. Tav fırını yüzey sıcaklıklarını ölçmek için termal kameralar ve yüzey sıcaklık problemleri, baca gazını ölçmek için baca gazı analizörleri kullanılmıştır. Ortam sıcaklığını ölçmek için ise daldırma batırma sıcaklık problemleri kullanılmıştır.

### 2.1. Ray ve Profil Haddehanesi Tav Fırını Ölçümleri

Ray ve Profil Haddehanesi tav fırını SMS MEER marka, yürüyen kirişli, 6 bölge ve 44 adet brülörden oluşmaktadır. Fırın içi sıcaklığı yaklaşık olarak 1250-1280°C ve fırından çıkan ürün sıcaklığı ise yaklaşık olarak 1150°C derecedir. Bu fırında yakıt olarak kok gazı kullanılmaktadır. Tav fırını baca gazı atık ısının değerlendirilmesi için sistemde reküperatör ve ekonomizer kullanılmaktadır. Etüt kapsamında bacı gazı analizi için reküperatör çıkışından yapılan ölçümler sonucunda baca gazı O<sub>2</sub> oranı %8,90 olarak tespit edilmiştir. Reküperatör çıkışındaki baca gazının atık ısı potansiyelinin sisteme eklenmesi için reküperatör çıkışına atık ısı kazanı eklenmesi uygun görülmüştür. Atık ısı kazanı ile 5,50 barg basınçta buhar elde edilerek oluşabilecek enerji tasarrufu miktarı hesaplanmıştır.

**Çizelge 1.** Atık ısı kazanı uygulaması ile elde edilen enerji tasarrufu

Ray ve Profil Had.	Atık Isı	Üretilen Buhar Basıncı	Enerji Tasarruf Potansiyeli	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	kW	barg	kWh/yıl	TL	yıl
Tav Fırını	1.693	5,5	14.181.636	3.247.457	3,07

Reküperatör çıkışındaki baca gazının kullanılabilir atık ısı potansiyeli çizelge 1'de görüldüğü gibi 1.693 kW olarak ölçülmüştür. Atık ısı kazanı ile yaklaşık 14 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu ve 1 milyon TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Uygulamanın yatırım maliyeti 3.2 milyon TL ve geri ödeme süresi ise yaklaşık 3 yıldır. Tav fırını yakma hava verimliliği için yapılan ölçümler sonucunda yakma havası fanı damperi ve zone girişlerindeki klapelere iyileştirmeler yapılarak yakma havası fanının yükünün azaltılarak elektrik ihtiyacının azaltılması hedeflenmiştir.

**Çizelge 2.** Klapelere iyileştirme ve değişim uygulaması ile elde edilen enerji tasarrufu

Ray ve Profil Had.	Elektrik Tasarrufu	Isı Tasarrufu	Toplam Enerji Tasarrufu	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	kWh/yıl	kWh/yıl	TL	yıl
Tav Fırını	231.504	12.539.859	12.771.363	3.601.276	3,05

Yakma havası damperi ve zone girişlerindeki klapelere iyileştirme ve değişim uygulamaları ile çizelge 2'de görüldüğü gibi yaklaşık 12.5 milyon kWh/yıl ısı enerji tasarrufu ve 1 milyon TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılacak damper ve klape değişiklikleri ile 231 bin kWh/yıl elektrik enerjisi tasarrufu ve 109 bin TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi ise yaklaşık 3 yıldır.

### 2.2. Çubuk ve Kangal Haddehanesi Tav Fırını Ölçümleri

Çubuk ve Kangal Haddehanesi tav fırını 1 adet SMS marka, yürüyen kirişli ve 44 adet brülörden oluşmaktadır. Tav fırını iç sıcaklığı yaklaşık 1250°C ve fırından çıkan ürünün sıcaklığı yaklaşık 1100°C'dir. Tav fırınında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Tav fırını baca gazı atık ısısının geri kazanılabilmesi için sistemde reküperatör ve ekonomizer bulunmaktadır. Çubuk ve Kangal Haddehanesi tav fırını baca gazı analizlerinde baca gazı O<sub>2</sub> oranı %2,70 olarak tespit edilmiştir. Baca gazı ölçümleri için gaz analizörleri kullanılmıştır.

ÇKH tav fırınının yüzeyinde ısıtım ve taşınım yoluyla ısı kayıpları meydana gelmektedir. ÇKH tav fırınının yüzeyleri termal kamera ve yüzey sıcaklık probu ile kontrol edilmiş ve

yüzeylerden atmosfere transfer edilen enerji miktarı belirlenmiştir. Baca gazı debisini belirleyebilmek için tav fırını bacasından pitot tüpü ile dinamik basınç ölçümü yapılmış baca ebatları alınmıştır. Fırın baca gazı debisi 77.7 bin m<sup>3</sup>/h olarak ölçülmüştür. ÇKH tav fırınında yapılan ölçüm ve alınan değerlere göre tav fırınının verimi %76,45 olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler ve değerlendirmeler sonucunda hava kaçakları ve reküperatörün girişine yakın bir noktada hasar tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.** Reküperatör girişinde iyileştirme uygulaması ile elde edilen enerji tasarrufu

Çubuk ve Kangal Had.	Yakma Havası Debisi	Yakma Havası Çıkış Sıcaklık Farkı	Enerji Tasarrufu Potansiyeli	Tasarrufun Mali Değeri
	Nm <sup>3</sup> /h	°C	kWh/yıl	TL/yıl
Tav Fırını	34.966	15	1.695.876	258.112

Hava kaçaklarının giderilmesi ve hasarlı noktanın onarılmasıyla çizelge 3'te görüldüğü gibi yaklaşık 1.7 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu, 258 bin TL/yıl mali tasarruf sağlanmıştır.

ÇKH tav fırını reküperatör çıkışındaki baca gazının kullanılabilir atık ısı potansiyeli 2.096 kW olarak belirlenmiştir. Reküperatör çıkışındaki baca gazı atık ısısının sisteme kazandırılması için reküperatör çıkışına atık ısı kazanı eklenmesi uygun görülmüştür.

**Çizelge 4.** Atık ısı kazanı uygulaması ile elde edilen enerji tasarrufu

Çubuk ve Kangal Had.	Atık Isı	Üretilen Buhar Basıncı	Enerji Tasarruf Potansiyeli	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	kW	barg	kWh/yıl	TL	yıl
Tav Fırını	2.096	5,5	17.547.180	3.247.457	2,49

ÇKH tav fırınının reküperatöründen sonra sisteme eklenmesi öngörülen atık ısı kazanı ile çizelge 4'te görüldüğü gibi 5,50 barg basınçta buhar elde edilmesiyle toplam 17.5 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu, 1.3 milyon TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği öngörülmektedir. Uygulamanın yatırım maliyeti 3.2 milyon ve geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıldır.

### 2.3. Kontinü Haddehane Tav Fırını Ölçümleri

Kontinü Haddehanede 1 adet OFU marka, itmeli tipte, 3 bölge ve 44 adet brülörden oluşmaktadır. Tav fırını iç sıcaklığı 1. bölgede 1.100°C, 2. bölgede 1200°C, 3. bölgede 1300°C ve fırından çıkan ürünün sıcaklığı yaklaşık 1100°C'dir. Tav fırınında yakıt olarak kok gazı kullanılmaktadır. Tav fırını

baca gazı atık ısının değerlendirilmesi için sistemde reküperatör kullanılmaktadır. Tav fırını baca gazı atık ısının bacı gazı analizi için reküperatör çıkışından baca gazı ölçümlerinde bacı gazı O<sub>2</sub> oranı %3,50 olarak belirlenmiştir. Tav fırınının yüzeyinde ısıtım ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kayıpları için ölçümler yapılmıştır. Tav fırını yüzey sıcaklıklarını ölçmek için termal kameralar ve yüzey sıcaklık problemleri kullanılmıştır. Ortam sıcaklığını ölçmek için ise daldırma batırma sıcaklık problemleri kullanılmıştır.

Kontinü Haddehane tav fırınında yapılan ölçüm ve alınan değerlere göre tav fırınının verimi %59,72 olarak belirlenmiştir.

Kontinü Haddehane tav fırını reküperatör ölçümleri sırasında reküperatörde kaçak tespit edilmiştir. Kaçakların reküperatör değişimi ile önenebileceği ve bu sayede enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmüştür.

**Çizelge 5.** Reküperatör değişimi ile elde edilen enerji tasarrufu

Kontinü Had.	Elektrik Tasarrufu	Isı Tasarrufu	Toplam Enerji Tasarrufu	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	kWh/yıl	kWh/yıl	TL	yıl
Tav Fırını	228.312	7.799.569	8.027.881	2.947.840	3,81

Kontinü Haddehane tav fırını reküperatörün yeni bir reküperatör ile değiştirilmesiyle çizelge 5'te görüldüğü gibi toplam 8 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu, 774 bin TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği öngörülmektedir. Uygulamanın yatırım maliyeti yaklaşık 3 milyon TL ve basit geri ödeme süresi 3,81 yıldır.

Reküperatör çıkışındaki baca gazının atık ısı potansiyeli 3.134 kW olarak belirlenmiştir. Reküperatör çıkışındaki baca gazının atık ısı potansiyelinin sisteme kazandırılması için reküperatör çıkışına atık ısı kazanı eklenmesi uygun görülmüştür.

**Çizelge 6.** Atık ısı kazanı uygulaması ile elde edilen enerji tasarrufu

Çubuk ve Kangal Had.	Atık Isı	Üretilen Buhar Basıncı	Enerji Tasarruf Potansiyeli	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	kW	barg	kWh/yıl	TL	yıl
Tav Fırını	3.134	5,5	26.333.748	5.943.847	3,04

Atık ısı kazanı uygulaması ile çizelge 6'da görüldüğü gibi 5,5 basınçta buhar elde edilerek 26.3 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu ve 1.9 milyon TL/yıl mali tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıldır.

### 3. Yüksek Fırın Analizleri

Kardemir 'de 4 adet yüksek fırın bulunmaktadır. Yüksek fırınlar, cevherden sıvı ham demir üretiminin temel bileşenidir. Oksitli mineraller olarak doğal halde bulunan cevherden; metalürjik kok ve diğer kömür bazlı maddeler ile beraber indirgenme reaksiyonu sonucu sıvı ham demir elde edilir [10]. Hammaddeler yüksek fırınlarda işleme alınmadan önce cevher hazırlama tesisinde depolanır ve cevher hazırlama, sinter ve şarj tesislerinden gelen malzemeler, dairesel kesitli, içi refrakter kaplı çelik gövdeden oluşan yüksek fırınlara şarj edilir. Kokun yanması için gerekli olan hava fırının alt bölgesinden su soğutmalı tüyerler tarafından ısıtılmış fırına üflenir. Bu sıcak hava rejenaratif sobalarda ısıtılır. Tüyerlerin hemen önündeki bölgede kokun yanması sonucunda CO ve N<sub>2</sub> 'den oluşan sıcak indirgeyici gaz fırın içinde kok yatağından yukarı doğru çıkarken aşağıya doğru inen şarj malzemelerini ısıtır ve reaksiyona girerek indirger. Bu indirgeme reaksiyonları neticesinde demir ve cüruf sıvı olarak hazinede toplanır. Yüksek fırına üflenmiş hava, sobalarda 1.000-1.250°C arasında ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Sobalarda öncelikle yüksek fırın gazının yanması ile refrakter tuğlalar ısıtılmakta, daha sonra sobalara soğuk körük havası üflenmekte ve refrakter tuğlalarda depolanan ısı soğuk havaya transfer edilmektedir. Ön ısıtılan hava, hava hattı ve tüyerler vasıtasıyla yüksek fırına iletilmektedir [11].

#### 3.1. Yüksek Fırınlarda Soba Verimliliği

Yüksek fırın sobalarının baca gazı içerikleri anlık olarak sabit analizörler vasıtasıyla ölçülerek kontrol ekranlarına yansıtılmakta ve operatörler tarafından takip edilmektedir. Sobalardaki yakma havası ve yüksek fırın gazı miktarları baca gazındaki oksijen ile karbon monoksit miktarları göz önünde bulundurularak kontrol odasındaki operatörler tarafından ayarlanmaktadır. Sobalardan alınan ölçüm sonuçlarına göre ve yapılan incelemelerle yanma verimleri hesaplanır. Yanma veriminin düşük olması sobada fazladan yakıt tüketilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla enerji kaybı yaşanmaktadır.

Soba baca gazında bulunan O<sub>2</sub> oranına dikkat edilir. O<sub>2</sub> oranının yüksek olması yanma verimsizliğinin göstergesidir. Sobanın yakıt türüne göre ideal baca gazı O<sub>2</sub> oranı değişmektedir. Bu ideal O<sub>2</sub> oranına göre yanma ayarının yapılmasıyla elde edilebilecek tasarruf miktarları hesaplanmaktadır.

Sobaların bacalarından alınan ölçüm sonuçlarına göre baca gazı atık ısı potansiyelleri hesaplanmaktadır. Belirlenen atık ısı potansiyelinin kullanılabilir olup olmadığı değerlendirilir. Eğer atık ısı potansiyeli geri kazanım için uygunsa, atık ısının kullanılacağı noktalar belirlenerek atık ısının kullanılmasıyla elde edilebilecek tasarruf miktarları hesaplanmaktadır.

Baca gazı ölçümleri alınırken baca gazında bulunan O<sub>2</sub> ve CO oranlarına dikkat edilmektedir. Baca gazındaki O<sub>2</sub> ve CO oranına bakılarak yanma verimi değerlendirilebilir. Yüksek

fırın gazı yakıtlı yanma sonucunda baca gazındaki ideal O<sub>2</sub> değerinin %1 seviyelerinde olması ve CO çıkışının olmaması (100 ppm'e kadar normal) beklenmektedir.

Baca gazındaki O<sub>2</sub> oranının beklenen değerden fazla olması, yanma işleminin fazla hava ile gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Bu durum yanma verimini düşüren etmenlerden birisidir. Çünkü yanma içerisinde olan fazla havanın, baca gazı sıcaklığına kadar ısıtılması yakıt tüketiminin artmasına neden olmakta, ısıtılan fazla hava atmosfere transfer edilmektedir. Fazla havanın ısıtılıp atmosfere transfer edilmesi enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Baca gazındaki CO miktarının yüksek olması, tam yanma reaksiyonunun gerçekleşmediğinin bir göstergesidir. Bu durum yanma verimini düşüren etmenlerden biridir. Çünkü yanma reaksiyonunda yakıtın enerjisinin bir kısmının ısıya dönüşmeden baca gazıyla atmosfere atılmasıyla yakıt sarfiyatına neden olmaktadır.

Kardemir'de 2 adet yüksek fırında (Yüksek Fırın-1 ve Yüksek Fırın-5) bulunan soba analizleri yapılmıştır. Sobaların yanma verimi indirekt yöntemi ile belirlenmiştir. Sobalardaki ısı kayıpları genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Kuru baca gazı yoluyla olan ısı kaybı (LKBG),
- Baca gazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı (LNBG),
- Baca gazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı (LCOBG).

Çizelge 7. Sobaların yanma verimi hesabı

Yüksek Fırın	Soba No	O <sub>2</sub>	CO	Baca Gazı Sıcaklığı	Kuru Baca Gazı Yoluyla Olan Isı Kaybı	Baca Gazındaki Nem Nedeniyle Olan Isı Kaybı	Baca Gazındaki Yanmamış CO Nedeniyle Olan Isı Kaybı	Yanma Verimi
		%	ppm	°C	%	%	%	
Yüksek Fırın-1	11	0,10	10.000	219	8,75	3,59	1,85	85,81
	12	0,60	100	160	6,4	2,87	0,02	90,71
	13	0,30	3	185	7,37	3,17	-	89,46
Yüksek Fırın-2	51	2,20	-	212	9,93	3,51	-	86,56
	52	1,00	-	189	7,8	3,22	-	88,98
	53	1,40	-	236	10,11	3,80	-	86,09

Yüksek Fırın-1'de bulunan 12 ve 13 numaralı sobanın ve Yüksek Fırın-5'te yer alan 52 numaralı sobaların mevcut durumda yanma verimlerinin ideal seviyelerde olduğu, Yüksek Fırın-1 11 numaralı sobanın, Yüksek Fırın-5 51 ve 53 numaralı sobaların yanma verimlerinin ise ideal seviyelerden bir miktar düşük olduğu belirlenmiştir.

Yüksek fırın sobalarının baca gazı içerikleri operatörler tarafından sürekli kontrol edilmektedir; fakat işletmedeki değişken şartlar sebebiyle hava-yakıt oranının daima verimli yanma aralığında olmasının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Sobalarda hava-yakıt miktarlarının direkt gaz analizörlerin-

den komut edilmesi ile yanma veriminin ideal seviyelerde olduğu süreler arttırılmıştır. Bu sayede yanma veriminin artmasıyla yüksek fırın gazı tüketiminin azaltılması mümkündür. Yüksek Fırın-5'te kontrol panelinde hava-yakıt oranı otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Yüksek Fırın-5'te bu sistemin aktif edilmesi ile 51 ve 53 numaralı sobalarda hava-yakıt miktarlarının direkt gaz analizörlerinden komut edilmesi ile yanma veriminin ideal seviyelerde olduğu süreler arttırılmıştır. Böylelikle yanma veriminin artmasıyla yüksek fırın gazı tüketiminin azaltılmıştır ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Yüksek Fırın-5'te 51 numaralı sobada hava-yakıt oranının otomatik olarak ayarlanabildiği kullanıcı modunun aktif edilmesi ile hava-yakıt miktarlarının direkt gaz analizörlerinden komut edilmesi ile yanma verimi %86,56'dan %87,64'e yükseltilmiştir. Verim artışıyla 715 Nm<sup>3</sup>/h yüksek fırın gazı tasarrufu sağlanmış olup; bu uygulamanın yaklaşık 3.2 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu, 218.639 TL/yıl mali tasarrufu bulunmaktadır.

### 4. Ekipmanlarda Enerji Verimliliği

#### 4.1. Pompalarda Enerji Verimliliği

Kardemir tesis bünyesinde farklı ebatlarda, farklı görevlerde ve farklı çalışma düzeninde 400'ü aşkın pompa sistemi kullanılmaktadır. Bu pompalar arasında; debi miktarı 2500 m<sup>3</sup>/sa'e ulaşabilen pompalar, katran, amonyaklı su ve su pompaları bulunmaktadır. Pompalar kapalı-açık devre sistemler içinde, sürekli veya kesintili çalışmada, yerine göre de paralel olarak çalışmaktadır.

Genel olarak pompaların verimliliğini etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Bazı hatlarda kirlilik sebebiyle borularda, pislik tutucularda, filtrelerde tıkanıklık oluşmakta ve performans olumsuz etki etmektedir.
- Taşınan sıvı içerisindeki kirlilik sebebiyle pompa çarkları korozyon veya fiziksel deformasyon gibi hasarlar alabilmektedir. Bu duruma karşı çarkların koruyucu kaplama ile kaplanması (Loctite 7227 gibi) özellikle düşük kapasiteli pompalarda belirgin düzeyde verimlilik artışı sağlar [12].
- Pompaların bağlı bulunduğu elektrik motorunun verimliliği, Anma yükünün %50'sinin altında çalışan motorlar fazla kapasitede çalıştığı için verimli çalışamazlar, ideal çalışma yükü %60-%90 arasındadır.
- Değişken yüklerde çalışan sistemlerde, vana ile kısma yapılması yerine frekans konvertör kullanılması enerji tüketimini azaltabilmektedir. Debi değişken değil ise en uygun çözüm en iyi verim noktasında çalışan sabit devirli bir pompadır [13].
- Pompalarda işletme aşamasında karşışın en önemli performans kaybı, pompaların kısmi yükte çalıştırılmalarından kaynaklanmaktadır. Santrifüj pompalarda yaklaşık %40 debi değerinde çalıştıklarında genellikle

titreşim, radyal yüklerde artış, aşırı ses ve verim düşüşü yaşanır. Bu nedenle pompaların nominal kapasitelerine yakın çalıştırılmaları uygundur.

- Pompa ekipmanının bulunduğu bölgedeki ısıtma devrelerindeki ısı yalıtımı yapılması gerekmekte ve sistemde montajdan kaynaklı titreşimlerin de önüne geçilmelidir.

$$\text{Verim } (\eta) = \frac{\text{Akışkana iletilen güç}}{\text{Pompanın harcadığı güç}} = \frac{\rho * Q * g * H}{P} * 100 \quad (1)$$

Formüle (1) gösterildiği ve yukarıda bahsedildiği üzere akışkan yoğunluğu  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>), debi Q (m<sup>3</sup>/sn), yerçekimi ivmesi g (9,81 m/s<sup>2</sup>) ve basma yüksekliği H (m), pompanın harcadığı elektriksel güce, P(kW), oranlanır ve verim elde edilir [14].

Fabrika sahasındaki pompaların verimlilik hesaplaması için debi, basınç, akışkan sıcaklığı ve aktif güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için;

- Pompaların basma hatlarından ultrasonik sıvı debimetresi ile debi ölçümü yapılmıştır. Hesaplama için boru çap ve kalınlık ölçüleri de kullanılmıştır.
- Debi ölçümleriyle eş zamanlı olarak pompaların aktif güçleri enerji analizörü ile ölçülmüştür.
- Akışkan sıcaklıkları işletme yetkililerinden temin edilmiştir. Pompaların emme ve basma basınçları hat üzerinde bulunan manometrelerden temin edilmiştir.

Çalışmalarda, %65-70 üstü verimlilikler ideal verimlilik olarak ele alınmıştır. Değiştirilmesi gereken pompalardaki tasarruf miktarı ve geri dönüşler ise üreticilerin katalog ve fiyat bilgilerine göre hesaplanmıştır. Ölçümlerden elde edilen tasarruf miktarları ünite bazında açıklanmıştır.

#### Enerji Tesisleri ve Su Tesisleri

En fazla pompaya sahip ünitelerdir. Pompalardan paralel çalışmakta ve debilerinin düzenlenmesi vanalar vasıtası ile sağlanmakta olanlar için, vana kontrolünün yarattığı basınç kaybından dolayı kayıplar verine sürücü ile pompa devrini düşürerek kontrol önerileri verilmiştir. Vana yerine debinin bu şekilde kontrolünün verimlilik açısından yararlı olduğuna yönelik çalışmalar bulunmaktadır [13].

**Örnek Olay:** Merkez Pompa 2 ünitesinde bulunan 8 adet kule besleme pompasından 5'i aktif olarak çalışmakta ve bunlardan 3 ve 4 numaralı pompalarda sürücü bulunmaktadı. Pompa çıkış debileri vanalar ile kontrol edilmektedir. Pompa 3 ve pompa 4'ün de aralarında olduğu 5 adet pompanın (2, 3, 4, 5 ve 8 numaralı pompalar) çalıştığı durumda 3. pompa 50 Hz'de çalıştırılırken, 4. pompanın frekansı 35 Hz mertebelerine kadar düşürülmüş ve pompaların vanaları açık hale getirilmiştir. Debi ihtiyacı karşılanmış ve basınç kaybı gözlenmemiştir. Yaklaşık olarak



1 milyon kWh/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır ve geri dönüş süresi 6 ay olarak hesaplanmıştır.

Merkez pompa 1 soğutma kulesi pompalarında sürücü uygulamaları ile yılda yaklaşık 4 milyon kWh tasarruf elde edilmiştir. Ölçüm yapılan bazı pompaların daha verimli olanları ile değişmesi gerektiği öngörülmüştür. Pompa değişimlerinden 2 milyon kWh/yıl tasarruf ve geri dönüş olarak 2 yıl olarak hesaplanmıştır.

#### Kok Fabrikaları

Katran ve amonyaklı su pompaları ile beraber su pompaları da bulunmaktadır. Su pompa hatlarında ultrason cihazı ile debi ölçümü sırasında hattın kireç tutması sebebiyle ölçüm alınmasında problemler yaşanmıştır. Verimliliğin artırılması için hat temizliği ve ölçüm yapılan bazı pompaların daha verimli olanları ile değişmesi gerektiği öngörülmüştür. Değiştirilmesi önerilen pompa güçleri 50 kW'dan düşük ve geri dönüş süresi 4 yıl olarak hesaplanmıştır.

#### Yüksek Fırınlr

Cüruf granülasyon sistemi için su pompaları bulunmaktadır. Verimlilik artışı için pislik tutucu kontrolü ve pompa çarkının koruyucu kaplama ile kaplanması ve ölçüm yapılan bazı pompaların daha verimli olanları ile değişmesi gerektiği öngörülmüştür. 5 numaralı yüksek fırın orta havuz pompasının verimi %17 olarak hesaplanmış olup, değişim geri dönüş süresi 1 yıl ve tasarruf miktarı 300 bin kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

#### Çelik Üretim ve Sürekli Dökümler

Gaz yıkama ve lans soğutma sistemi için pompalar kullanılmaktadır. Paralel çalışan pompalarda verim artışı için vana ile debi kontrolü yerine frekans konvertör sistemi ile kontrol yöntemi öngörülmüştür. Ölçüm yapılan bazı pompaların daha verimli olanları ile değişmesi gerektiği saptanmıştır. 9 adet pompadan yaklaşık 3 milyon kWh/yıl tasarruf imkanı ve geri dönüş 2 yıl olarak hesaplanmıştır.

#### Hava Ayrıştırma Tesisi

Soğutma sistemlerinde su pompaları kullanılmaktadır. Ölçümlerde, verimlilik değerlerinin ideal değerde veya biraz altında olduğu gözlenmiştir. Tesiste düzenli bakım ile verimlilik artışı yapılabileceği öngörülmüştür. Herhangi bir değişim yapılmamıştır.

#### Haddehaneler (Çubuk ve Kangal, Kontinü, Ray ve Profil)

Soğutma ve su arıtma sistemlerinde pompalar kullanılmaktadır. Paralel çalışan pompalarda verim artışı için vana ile debi kontrolü yerine frekans konvertör sistemi ile kontrol yöntemi öngörülmüştür. Ölçüm yapılan bazı pompaların daha verimli olanları ile değişmesi gerektiği saptanmıştır. Ayrıca, emiş hatlarındaki konik redüktör yerine eksantrik redüktör kullanımının da kavitasyon riskini azaltacağı düşünülmektedir.



Şekil 1. Emiş hatlarında eksantrik redüktör kullanımı ile ilgili görsel.

Şekil 1'de görüldüğü üzere konik redüktörler, hava kabarcığı oluşumu sebebiyle kavitasyon ve verim düşmesine sebep olmaktadır [15].

#### **4.2. Fanlarda Enerji Verimliliği**

Kardemir AŞ tesis bünyesinde eksenel ve santrifüj fanlar; soğutma, tozsuzaştırma, kazanlara/fırınlara hava giriş ve çıkışı amaçları ile kullanılmaktadır.

Fan verimliliği, pompalarda olduğu gibi akışkan gücü ile harcanan güç oranlanarak bulunur. Bunun için;

- Akışkan gücü için fanın giriş ve çıkış kısımlarından pitot tüpü ve basınç kalibratörü ile basınç ölçümleri, statik basınç belirlenmiş ve akışkanın gücünün yarattığı dinamik basınç üzerinden hesap yapılmıştır.
- Fan hattı içindeki sıcaklık ise sıcaklık probu ile tespit edilmiştir.
- Sonraki hesaplamalar için fan hattının kesit ölçüleri alınmıştır.
- Harcanan enerji ise enerji analizörü ile panodan alınmıştır.

$$\text{Verim}(\eta) = \frac{\text{Akışkana iletilen güç}}{\text{Fanın harcadığı güç}} = \frac{\Delta P \cdot Q}{102 \cdot P} * 100 \quad (2)$$

Formülde (2) gösterildiği ve yukarıda bahsedildiği üzere; basınç farkı  $\Delta P$  (mmss), debi  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) ve fanın motor gücü  $P$  (kW) kullanılarak fan verimliliği hesaplanır [16].

Bununla birlikte, fan verimliliği; değişken fan yüküne bağlı olarak VSD (Variable Speed Drive) gibi sürücü kontrolü, fan pervanesinin daha verimli tasarım ile değiştirilmesi ve kayışlı sürücü fanlarda kayış kasnakları değiştirilerek istenen akışkan gücünün verimliliğinin artırılması ile sağlanabilmektedir.

Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre yapılması öngörülen çalışmalar ünite bazında açıklanmıştır.

#### Sinter Tesisi

Tesiste, anmış gazın sirkülasyonu ve sinter fırınına hava beslemesi için fan tertibatı bulunmaktadır. Revizyon yapılmış fanlarda ideal seviye verimlilik gözlenmiştir. Tesiste bulunan fanlarda herhangi bir değişim yapılmamıştır.

#### Çelik Üretim ve Sürekli Dökümler

Tesiste, tozsuzaştırma sistemleri ve konverter gazı toplama amaçlı fanlar kullanılmaktadır. Çalışma şartları gereği fanlarda kirlilikten kaynaklı verim düşüşü tespit edilmiştir. Fan temizliği, temel bakım kapsamında verimliliğe önemli etkisi olan bir durumdur [17].

**Örnek Olay:** Konverter 1 ID fanı ilk ölçümde 615 kW güç harcarken, temizlik sonrası 509 kW güç harcayacağı hesaplanmıştır. Bunun sonucunda yılda 781 bin kWh tasarruf öngörülmektedir.

#### Yüksek Fırınlr

Tesiste, tozsuzaştırma ve pülverize kömür enjeksiyonu işlemleri için fanlar kullanılmaktadır. Bazı fanlarda damper ile debi ayarı yapılmaktadır. Damper ile ayar yapılan fanların daha uygun kapasite olanları ile değiştirilmesi ve verimliliği düşük olanların daha verimli olanlar değiştirilmesi öngörülmüştür.

#### Haddehaneler (Ray ve Profil, Kontinü, Çubuk ve Kangal)

Tesiste, yakma havası besleme, baca ve soğutma fanları bulunmaktadır. Verimlilikleri ideal seviyede (yaklaşık %60) olduğu için herhangi bir değişim yapılmamıştır.

#### Soğutma Kulesi Fanları

Soğutma kulesi fanları, tesis genelinde proses sebebiyle ısınan suyun soğutulması için kullanılan karşıt akışlı kule fanlarıdır. Bu fanlar alüminyum eksenel fanlardır. Tesiste bulunan soğutma kulesi fanlarının enerji tüketimlerinin belirlenmesi amacıyla enerji analizörü ile aktif güç ölçümleri yapılmıştır.

Toplam 13 kulede bulunan 49 adet fanda yapılan ölçüm sonucu toplam enerji tüketimi 19 milyon kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

#### **5. Sonuç**

Günümüzde, işletmelerde enerji kaynaklarının verimli kullanılmasının son derece önem kazanmış olması ve "ISO 50001 Enerji Yönetimi Politikası"na göre yapılması zorunlu olan enerji etütleri ile büyük miktarda tasarruf sağlanabilmektedir. Enerji verimliliğinin endüstriyel rekabet, mali tasarruf gibi faydalar sunmasının yanında Paris İklim Anlaşması çerçevesinde CO<sub>2</sub> salınımlarının azaltılması gibi çevresel etkileri de söz konusudur. Bu kapsamda Kardemir AŞ fabrika sahasında kayıp/kaçakların önlenmesi ve potansiyel tasarruf noktalarının tespit edilerek enerji verimliliğinin artırılması amacıyla işletme sahalarına yönelik pompa, fan, yüksek fırın sobaları, baca gazı analizleri, sıcaklık ölçümleri, sıcak yüzeylerde ısı kaybının tespiti ve yüzey sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yüksek fırın sobalarında ısı ve yanma verimliliği için gaz, haddehane tav fırınlarında baca gazı ve atık ısı ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm işlemleri sonucunda potansiyel enerji ve mali tasarruf noktaları, yatırım maliyetleri ve geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Bu sayede verimlilik artırıcı projeler ve

iyileştirme uygulamaları ile üretim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

#### **Teşekkür**

Etütlerde birlikte çalışma fırsatı yakaladığımız ve verilerini kullanmış olduğumuz Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Prof. Dr. Durmuş KAYA ve Ekosmart Enerji firması çalışma ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

#### **Referanslar**

- [1] Patterson M. G., (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues, *Energy policy*, vol. 24, no. 5, 377-390.
- [2] Kurbanoğlu, Abdulkadir. *Demir çelik sektöründe tav fırını atık ısısını ısı kaynağı olarak kullanan organik rankine çevriminin termodinamik analizi*. MS thesis. İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017.
- [3] <https://celik.org.tr > Tarih: 25.01.2022.
- [4] Durmuş, K. A. Y. A. "Demir Çelik Sektöründe Enerji Verimliliği." *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2.2: 201-204.
- [5] Arzu, U. Z. U. N., and Murat DEĞİRMEN. "Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği ve enerji yönetimi." *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi* 4.2 (2018): 83-97.
- [6] Si, M., Thompson, S. and Calder, K. (2011). Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1): 2904-2908.
- [7] Şenol, Galip Kürşat, and Cuma Karakuş. "Pompa ve Pompa Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları." *Mühendis ve Makina* 58.687 (2017): 1-16.
- [8] Campana, F., Bianchi, M., Branchini, L., Pascale, A., Peretto, A., Baresi, M., Fermi, A., Rossetti, N. and Vescovo, R. (2013). ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings. *Energy Conversion and Management*, 76: 244-252
- [9] Vatandaş, Sedat. *Sanayi fırınlarında enerji ve ekserji verimliliği; örnek çalışma emaye pişirme fırını verimlilik projesi enerji ve ekserji analizlerinin gerçekleştirilmesi*. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [10] < https://www.course50.com/en/technology/> Tarih: 10.01.2022
- [11] KARDEMİR AŞ, "Yüksek Fırınlr Prosedürü", 2019.
- [12] N. Qiu, L. Wang, S. Wu, and D. S. Likhachev, "Research on cavitation erosion and wear resistance performance of coatings," *Engineering Failure Analysis*, vol. 55, pp. 208–223, 2015.
- [13] J. Viholainen, J. Tamminen, T. Ahonen, J. Ahola, E. Vakkilainen, and R. Soukka, "Energy-efficient control strategy for variable speed-driven parallel pumping systems," *Energy Efficiency*, vol. 6, no. 3, pp. 495–509, 2012.

[14] V. Uğurludemir, "Temel Hidrolik-Karakteristik Eğriler," in KSB AŞ, 2018.

[15] B. Stoffel, "Physical and technical background of the efficiency of pumps," Assessing the Energy Efficiency of Pumps and Pump Units, pp. 45–61, 2015.

[16] H. Türkoğlu, "Fan Verimi," in ME415, 2022.

[17] Improving fan system performance: A sourcebook for industry. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2003.

## Yüksek Fırın Cürufu Atık Isı Değerlendirilmesi

### Waste Heat Recovery of Blast Furnace Slag



**İ. Erdem ERTÜRK, Seçil KAYATURAN, Abdulrezzak ERDEM, Mert HEKİM, Gökhan DOĞANTEPE, Fikret FURTUN**

Kardemir A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

In the production process from ore by the blast furnace, coke, coal, iron ore, and sinter are used as inputs, while combustible blast furnace gas, liquid raw iron and liquid slag at a temperature above 1400 °C come out as output. Blast furnace slag is preferred as a cement additive. However, for this, it must be cooled rapidly and become glassy and granular. This process is usually done using a large amount of water and there is no heat gain. Various methods have been considered in order to granulate the blast furnace slag in a quality suitable for the cement industry and to recover the waste heat, and the most recent studies on this subject are the Rotating Cup Method. In this method, the liquid slag discharged from the blast furnace is poured at a constant flow rate onto the rotating disc/cup inside the structure called granulator. The slag poured on the rotating disc solidifies by fragmentation. The heated air in the granulator and the remaining heat of the slag as solid granules can be recycled and used in the desired systems. At 1400 °C, 1 ton of slag has about 1.6 GJ of energy. Considering the quantities produced, there is serious potential. However, the fact that blast furnace slag has low thermal conductivity, high viscosity and is rapidly affected by temperature makes it difficult to put this method into operation. Various experiments and pilot plants have been carried out on blast furnace slag waste heat recycling systems. It is predicted that these systems will become common due to the potential of waste heat recycling and water saving.

#### Özet

Yüksek fırın ile cevherden üretim sürecinde, girdi olarak kok, kömür, demir cevheri ve sinter kullanılırken, çıktı olarak yanıcı yüksek fırın gazı, sıvı ham demir ve 1400 °C üstü sıcaklıkta sıvı cüruf çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufu çimento katkı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Fakat bunun için hızlı bir şekilde soğutulması ve granüle hale gelmesi gerekmektedir. Bu işlem genellikle yüksek miktarda su kullanılarak yapılır ve herhangi bir ısı kazanımı olmaz. Yüksek fırın cürufunun hem çimento sanayisine uygun kalitede granüle edilmesi hem de atık ısısının kazanılması için çeşitli yöntemler düşünülmüş olup bu konuda üstüne sonuç alınan en güncel çalışmalar Döner Disk Yöntemi (Rotating Cup Method)'dir. Bu yöntemde, yüksek fırından deşarj edilen sıvı cüruf, granülatör denilen yapının

içindeki döner diskin üzerine sabit debide dökülür. Döner disk üzerine dökülen cüruf parçalanarak katılaşır. Granülatör içindeki ısınan hava ve katı granüllere ayrılmış cürufun kalan ısısı geri dönüştürülerek, istenilen sistemlerde kullanılabilir. 1400 °C'de 1 Ton cüruf yaklaşık 1.6 GJ enerjiye sahiptir. Üretilen miktarlar düşünüldüğünde ciddi bir potansiyel söz konusudur. Fakat yüksek fırın cürufunun ısı iletkenliği düşük, viskozitesi yüksek ve sıcaklıktan hızlı etkilenen bir malzeme olması, bu yöntemi devreye almayı zorlaştırmaktadır. Yüksek fırın cürufu atık ısı geri dönüşüm sistemleri üzerine çeşitli deneyler ve pilot tesisler uygulanmıştır. Atık ısı geri dönüşüm ve su tasarrufu potansiyeli sebebiyle bu sistemlerin yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

#### 1. Giriş

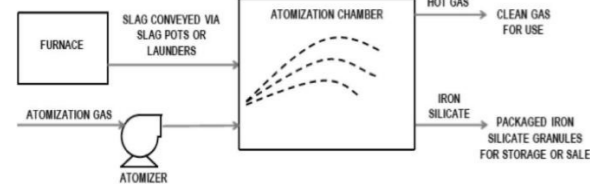
Yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretimi sırasında cüruf açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın cürufu Portland çimentosu üretiminde girdi maddesi olarak kullanılması için granüle edilmelidir. Betonun daha sonra şişmesini önlemek için granüle cürufun amorf (camsı) formda olması gerekmektedir.

Cüruf granülasyon işlemleri, katılaşma sırasında cürufun yavaş soğumasını ve kristalleşmesini önlemek için çoğunlukla su ile yapılmaktadır. Su ile yüksek fırın cürufu granülasyonunda 1 Ton cüruf için teorik olarak 8 Tonun üzerinde su tüketilmekte [1] ve harcanan suyun 1-1,5 m<sup>3</sup>'ü buharlaşmaktadır. [2] Ayrıca açığa çıkan buhardan doğaya salınan kükürlü bileşikler çevre kirliliğine de yol açmaktadır. [3] Kurutma işlemine rağmen, granüle cürufu yaklaşık % 10-12 oranında artık nem kalmaktadır. Bu nedenle çimento üretimi için, ürünün tekrardan kurutulması gerekmektedir. [4] Yüksek fırın cürufunun demir çelik endüstrisindeki yüksek sıcaklıktaki atık ısının % 25'ini [5] oluşturduğu da hesaba katıldığında geri kazanımın önemi daha da belirginleşmektedir. Bunun için, ısı geri kazanımı sağlayan ve daha çevreci granülasyon yöntemleri arasında öne çıkan ve başarılı yöntem olarak döner disk metodu üzerine çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır [6].

## 2. Yüksek Fırın Cürufu Granülasyonu

Yüksek fırınlarda cevherden demir üretimin bir parçası olarak, üretilen her 1 Ton sıvı ham demire karşılık olarak 200 ile 600 kg arasında cüruf açığa çıkmaktadır [7]. Cürufun yüksek fırından çıkış sıcaklığı 1400 °C'nin üstünde olmaktadır. İçeriğinde çoğunlukla SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve MgO bulunmaktadır. İstenen özellikte, amorf bir cüruf oluşturmak için 10 °C/s üzerindeki soğutma hızları gerekmektedir [8]. En basit yöntem olarak su ile söndürme tercih edilmektedir. Geçmişte, kuru granülasyona yönelik çalışmalar da yapılmıştır.

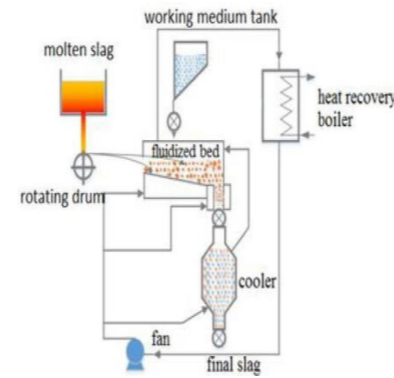
Mitsubishi Heavy Industries 1970 - 1980'lerde cüruf akışına yüksek debide ve basınçta hava üfleyerek granüle etmeyi denemiştir. Hava üflemenin çok yüksek miktarda enerji gerektirmesi ve ısı kazanımının düşük olması sebebiyle başarısız olsa da, Ecomaister ve Hatch, bu teknolojinin geliştirilmesinde ve ticarileştirilmesinde başarılı olmuşlardır [9]. Bu yöntemde cüruf, yüksek basınçlı hava jeti kullanılarak bir oda içerisinde atomize edilerek, bölme tasarımına bağlı olarak, atomizerden gelen sıcak gaz geri kazanılmıştır. % 50 ile % 70 oranında ısı geri kazanımının, malzemelerin kurutulmasında ve ön ısıtılmasında kullanılabileceği belirtilmiştir [10].



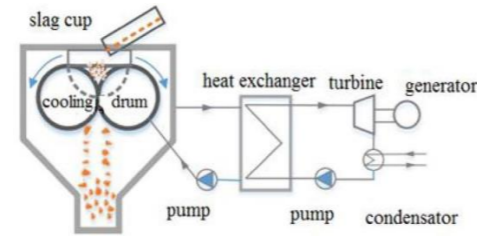
Şekil 1. Üstte Ecomaister'ın uyguladığı granülasyon yöntemi [9] Altta Hava üfleme yöntemi ile cüruf granülasyonu şeması [10]

Japonya'daki IHI ve Sumitomo Metal Industries, 1974'ten 1980'lere kadar tek tamburlu kuru granülasyon işlemi üzerinde çalışmışlardır. Yüksek fırın cürufu bir döner tambur üzerine dökülerek granüle edilmektedir. Granüle edilmiş cürufta kalan ısının geri kazanımı için ikinci bir soğutucuya aktarılmaktadır. Cüruf ısısının % 60'ı 500°C'de sıcak hava şeklinde geri kazanılmış ama granül kalitesi çimento için uygun bulunmamıştır. Tambur yöntemini

Nippon Kokan Co. (NKK) 1980'lerde tek tambur yerine çift tambur kullanarak uygulamıştır. Fakat cürufun sadece % 80'i amorf fazda olduğu için başarısız kabul edilmiştir [10].



Şekil 2. IHI ve Sumitomo'nun kullandığı Tek tamburlu cüruf granülasyonu yöntemi [10]



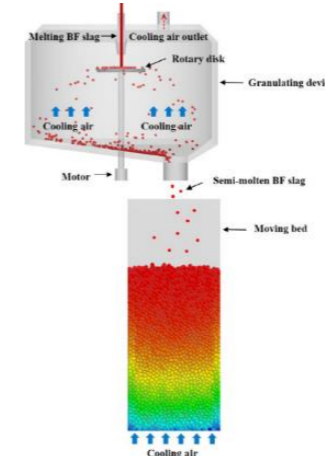
Şekil 3. NKK tarafından uygulanan çift tambur kuru granülasyon ve ısı geri kazanımı yöntemi [10]

## 3. Döner Disk Yöntemi

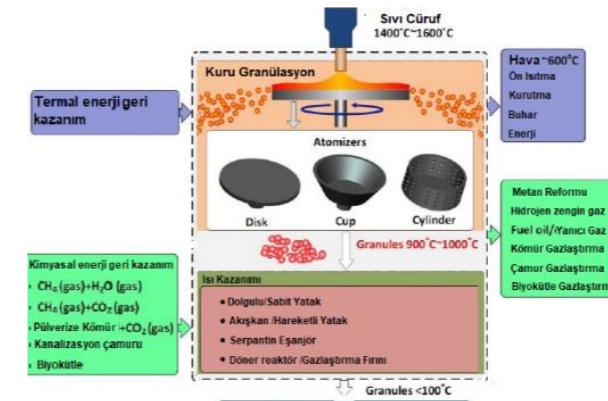
Yüksek fırından şarj edilen cüruf, 1400-1500°C arası sıcaklıkta granülatör denilen yapının içindeki sabit hızda dönen disk veya kabın içine dökülür. Cürufun parçacıklara ayrılmasını sağlayan döner parçaya disk denilse de çanak ya da silindir şeklinde de olabilmektedir. Bu sistemin verimliliği için çeşitli disk/çanak yöntemleri denenmiştir.

Döner diskin üzerine dökülen cüruf, diskin merkezkaç kuvveti etkisiyle önce film tabakası olarak diskin üzerine yayılır. Taneciklere ayrılıp soğuyarak katılaştıran cüruf, granülatör iç duvarına değmeden önce katılmış olur. Bu katılaşmada, granülatör sistemine alttan beslenen basınçlı havanın soğutma etkisi de vardır. Beslenen hava, cürufu soğutarak ısınır ve sıcak hava olarak tahliye edilir. Parçacıklara ayrılıp katılaştıran cüruf, soğumasına rağmen sıcaklığı hala yüksektir. Bu aşamada granülatör içerisinde ya da dışında ikinci bir ısı alış-veriş mekanizması ile kalan atık ısı da değerlendirilir. Bu sistemin % 75 civarında ısı kazanım verimliliği ve % 95'in üzerinde cüruf granülasyonu imkânı vardır [6]. Döner disk ile granüle edilmiş cürufun çimento

kalitesinin de yüksek olduğunu destekleyen çalışmalar vardır [11].



Şekil 4. Yüksek fırın cürufunun döner disk yöntemi ile granülasyonu ve ısı geri kazanımı [12]



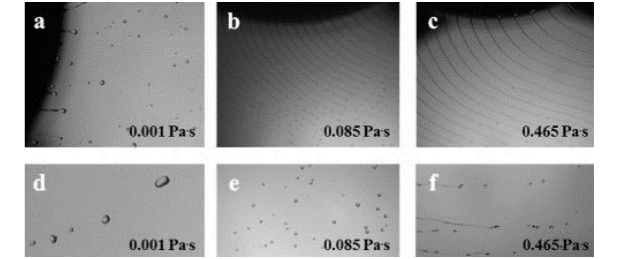
Şekil 5. Cürufun kuru granülasyonu ve atık ısı değerlendirme yöntemleri [13]

Şekil 5'de gösterildiği üzere bu sistemde farklı ısı kazanım metodları bulunmaktadır. Cürufun katılaştıran granülatör zeminine çökmesi sonrası, isteğe ve ısının kullanım alanına bağlı olarak farklı yöntemler uygulanabilir. Bu yöntemleri etkileyen faktörler de bulunmaktadır.

### 3.1 Viskozite

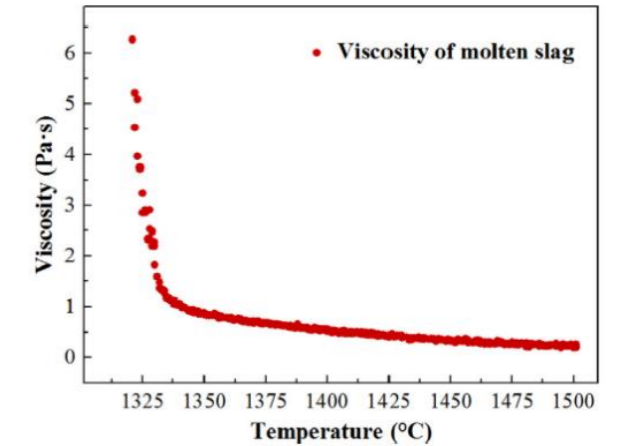
Sıvı cürufun viskozitesi, cürufun merkezkaç ile diskin üzerine yayılıp parçalanmasında önemli rol almaktadır. Viskozite yüksek ise cüruf atomize granüller halinde disk yüzeyinden ayrılmak yerine daha büyük katılar halinde parçalanmaya başlar. İstenen ortalama granül boyutunun maksimum 4 mm olduğu hesaba katılarak, viskozite değişimine göre tesisin tasarlanması ve çalıştırılması gerekmektedir. Viskozitenin etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. İlgili deneyde cürufu simüle etmek için su ile reçine-parafin

karışımı kullanılmıştır. Benzer deneyler için su kullanıldığı da belirtilmiştir. Deney ortamında cürufun yüksek sıcaklıkta tutulması gerekmesinin teknik ve güvenlik problemler çıkarabilmesine ek olarak, eriyik halde yoğun miktarda ışık yayması parçalanmanın gözlenmesini zorlaştırmaktadır [14].



Şekil 6. Değişik viskozitedeki sıvıların döner disk üzerinden parçalanması deneyi [14]

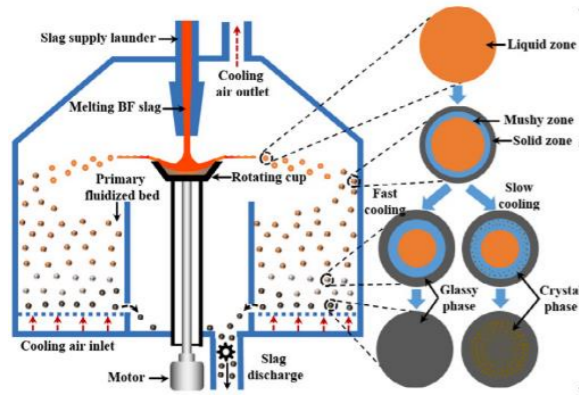
Şekil 7'de görüldüğü üzere sıcaklık azaldıkça viskozitenin arttığı ve sıcaklık 1337 °C'nin altına düştüğünde viskozitenin katlanarak arttığı tespit edilmiştir [15].



Şekil 7. Yüksek fırın cüruf viskozitesinin sıcaklığa bağlı değişimi - Kimyasal kompozisyon: CaO % 39,2; SiO<sub>2</sub> % 30,3; MgO % 8,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 11,3; TiO<sub>2</sub> % 5,95 [15]

### 3.2 Katılma

Katılma sıcaklığı, cürufun kimyasal bileşenleri bilindiğinde ilgili tablolarda yer almaktadır [16]. Ufak parçalar ayrılmış cürufun granülatör iç duvarına çarparken en azından dış kısmının katılmış olması gerekmektedir. Aksi takdirde cüruf parçacıklarının granülatör iç duvarına yapışması ve sistemin veriminin düşmesine sebep vermektedir. Cüruf parçacıklarının tamamen katılmasını garanti etmek için, bölme duvarı ile çarpışmadan önceki sıcaklıkları, cüruftaki silika (SiO<sub>2</sub>) içeriğine bağlı olan katılma sıcaklığından daha düşük bir değere düşmelidir [17].



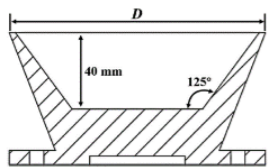
Şekil 8. Döner disk yöntemi ile granülasyonda cürufun katılaşması [18]

### 3.3 Döner Disk/Çanak

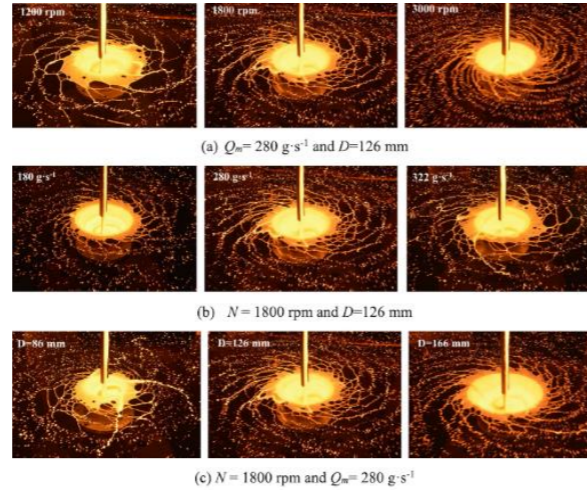
Sistemin verimliliği için çeşitli disk/çanak yöntemleri denenmiştir. Denemelerde geometriden ziyade çap ve dönme hızının etkisinin çok daha belirgin olduğu gözlemlendiği çalışmalar olsa da [19] döner disk/çanak yüzey geometrisinin etkisini inceleyen çalışmalar da mevcuttur [20].

Disk çapı ve dönme hızı arttıkça granül çapı düşmektedir. Fakat hız ve disk çapının fazla artması durumunda cüruf erken katılaşmaya başlar ve bu da cüruf yünü oluşturur [21]. Cüruf yünü oluşumu sistemin verimini düşürmektedir. Fazla yavaş hızda dönme ya da fazla küçük disk çapı ise sistemin işlevini gerçekleştirememesine sebep olacağı düşünüldüğünde, en uygun çap ve dönme hızının seçilmesi gerekmektedir. Bu durumda ayrıca belirleyici olan cüruf viskozitesi ve akış kapasitesidir [22].

Bunun yanında disk materyalinin aşındırıcı cürufa karşı iyi seçilmesi ve sıcaklığının sabit tutularak verimli çalışması için su ceketı gibi yöntemler kullanılabilir. Yukarıdaki etmenler düşünüldüğünde düz disk, girintili disk, çanak veya silindir gibi farklı geometrik etkenler de ayrıca değerlendirilmelidir [23].



Şekil 9. Döner disk yerine çanak gibi yapılar da kullanılmaktadır. Deney için kullanılan çanağın kesiti gösterimi [15]



Şekil 10. Yüksek fırın cürufunun farklı çap ve devirdeki çanakta parçalanması - Kimyasal kompozisyon: CaO %39,2; SiO<sub>2</sub> %30,3; MgO %8,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %11,3; TiO<sub>2</sub> %5,95 [15]

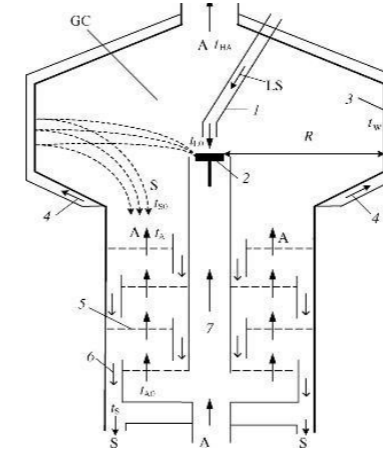
Şekil 10 a'da görüldüğü üzere  $Q_m = 280 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$  ve  $D = 126 \text{ mm}$ 'de (Şekil 9) sabit tutularak gerçekleştirilen deneyde dönüş hızı arttıkça sıvı cüruf daha küçük parçalar halinde granüle olmaktadır.

Şekil 10 b'de görüldüğü üzere artan erimiş cüruf kütle akış hızı ile serbest cüruf levhasının yayılma alanının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 10 c'de görüldüğü üzere  $Q_m = 280 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$  ve  $N = 1.800 \text{ rpm}$ 'de sabit tutularak gerçekleştirilen deneyde döner kap çapı arttıkça, cüruf filmi döner kap yüzeyine yayılır ve serbest cüruf tabakası kabın çevresel yönü boyunca daha düzgün hale gelerek serbest küçük cüruf damlacıklarına dönüşür [15].

### 3.4 Isı kazanımı

Döner disk ile cüruf granülasyonunun devreye alınmasında cürufun granülasyonundan sonra diğer önemli konu da cürufun potansiyel ısısından faydalanılmasıdır. Bu konuda Şekil 5'de de görüldüğü gibi iki aşamalı yöntem uygulanmaktadır.

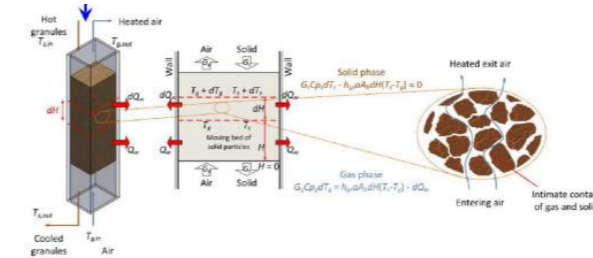


Şekil 11. Cüruf granülasyonunda ısı değişiminin incelenmesine yönelik çalışma [17]

İlk aşama, cürufun ufak parçacıklar halinde katılaşması sırasında açığa çıkan ısının kullanılmasıdır. Bu aşamada cürufun katılaşarak granüle edilmesi ısı transferinden önce tutulduğu için sistem dizaynı buna göre yapılır. Bu aşamada ısının taşınması için sisteme üflenen hava kullanılır.

İkinci aşamada ise, granül parçacıklar halinde katılaşan cüruf taneçiklerinin kalan ısısı değerlendirilir. Bu aşamada işletme ya da tasarımcı tercihlerine göre farklılıklar olabilmektedir.

İlk aşamadaki Şekil 11'de gösterilen ısı transferinin hesaplanması için yapılan çalışmada [17] Cüruf, küçük taneçikler olarak hesaplanmış ve giriş sıcaklığı  $t_{L0} = 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ , ikinci aşamadan ısınarak gelen hava sıcaklığı  $t_a = 600 \text{ }^\circ\text{C}$  ve granülator duvar sıcaklığı  $t_w = 227 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak kabul edilmiştir. Hesaplama sonucunda cürufun granülatorü terk etme  $t_{S0}$  sıcaklığı  $1070 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda hava sıcaklığının cürufun  $300^\circ\text{C}$ 'ye yakın soğumasından hava sıcaklığının  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  arttığı varsayımlarla hesaplanmıştır [17].



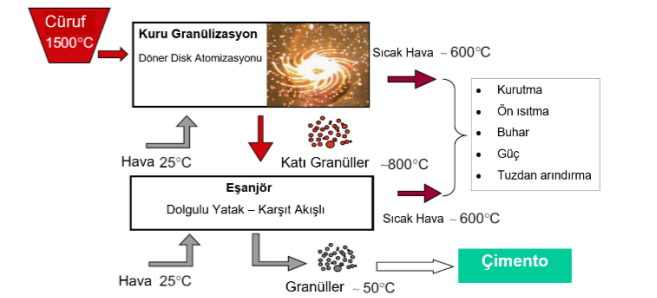
Şekil 12. Cürufun kalan ısısının kazanımı ile ilgili yapılan çalışma (CSIRO - Avustralya) [24]

Şekil 12'de gösterilen çalışmada doğrudan temaslı karşıt akışlı akışkan yataklı sistem ile cürufun granülasyonundan sonra kalan ısısının kullanımı incelenmiştir. Çalışmada cüruf taneçiklerinin akışkan yatağa giriş sıcaklığı olarak  $780 \text{ }^\circ\text{C}$

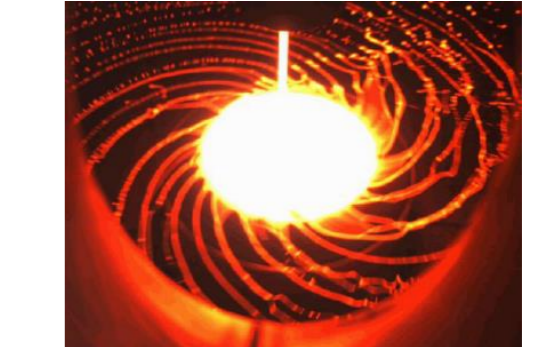
kabul edilmiştir. Havanın alttan giriş sıcaklığı ise  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır. 1 ila 3 ton/dk kapasitede sistemde  $650 \text{ }^\circ\text{C}$  üstünde hava elde edilebileceği ve cüruf çıkış sıcaklığının  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  altı olduğu hesaplanmıştır [24].

Şekil 11'de gösterilen sistemde yapılan ikinci aşama çalışmasında ise [25], bir, iki ve üç akışkan yataklı ısı transferi incelenmiştir. Hava akış hızı seçimi, bir akışkan yataklı cüruf kütle, yatakların sayısı ve boyutları ve akışkan yataklarda hava basıncı kayıplarının değerlendirilmesi ile ilgili öneriler formüle edilmiştir. Cüruf ısısının %95'ini geri kazanmak için yeterli olan akışkan yatak sayısının üçten fazla olmadığı gösterilmiştir.

### 4. Uygulamalar



Şekil 13. CSIRO'nun geliştirdiği pilot tesisin çalışması ve görünümü [26]



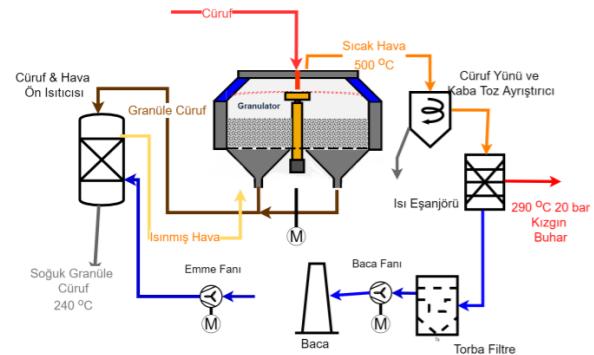
Şekil 14. CSIRO pilot tesisi görünümü ve granülatorün çalışması [17]

CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Organization – Melbourne/Avustralya) 2008 yılında, 70 mm çapa kadarlık diski ve 1,2 m çapında bir granülatöre sahip prototip bir cüruf granülatör (DSG) sistemi tasarlamış ve inşa etmiştir. 2010 yılında 25 cm çapında disk ve 3 m çapında granülatör ile pilot uygulama yapmıştır. Sistem 100 kg/dk kapasitededir. Pilot uygulama üzerinde cüruf granülasyonu ve atık ısı değerlendirilmesine yönelik çeşitli deneyler yapılmıştır.

2015 yılında CSIRO, sistemi büyütmek ve ticarileştirmek için Beijing MCC Equipment Research & Design Corporation (MCCE) ile ortaklık kurmuştur. Çin'de 300–500 kg/dak cüruf işleyebilen 5 m çapında bir granülatörden oluşan daha büyük ölçekli bir pilot tesis inşa edilmiştir [24].



Şekil 15. Üstte, Voelstalpine Stahl tesisinde kurulan pilot tesis[1] Altta, Pilot tesiste granülatörün çalışması.[1]



Şekil 16: Primetals'in geliştirdiği ve ticarileştirdiği kuru granülasyon sistemi [27]

Primetals, 2015 yılında Voelstalpine Stahl (Linz/Avusturya) tesisinde 60 Ton/sa maksimum kapasitede tesis pilot tesis kurmuştur. Büyük ölçekte ve ısı geri kazanımına sahip endüstriyel sistemlere geçilmesi planlanmıştır. Denemeler sonucunda 60-90 Ton/sa stabil ve 500 °C sıcak hava üretimi hedeflenmiştir. Ayrıca kuru granüle cürufun kalite standartlarını karşıladığı da belirtilmiştir [1].

## 5. Sonuç

Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında, demir ve çelik üreticilerinin de karbon salınımına yönelik çalışmalar yapması gerekmektedir. Bu durum, atık ısı kaynaklarının kullanımı konusunda çalışmaların önemini artırmaktadır. Yüksek miktarda atık ısı içeren yüksek fırın cürufunun su kullanmadan ve verimli bir şekilde granüle edilmesi sağlanması da bu çalışmalardan biridir. Döner disk ile granülasyon sistemi bu konuda öne çıkan sistemdir. Geliştirilmesinde ve devreye alınmasında çeşitli zorluklar olsa da, sistemin önümüzdeki dönemde entegre tesislerde ilgi göreceği öngörülmektedir.

## 6. Referanslar

- [1].Fleischanderl A., Fenzl T., ve Neuhold R., "Dry Slag Granulation – The Future Way to Granulate Blast Furnace Slag". Primetals Technologies Austria GmbH.
- [2].H. Wang, J.-J. Wu, X. Zhu, Q. Liao, ve L. Zhao, "Energy–environment–economy evaluations of commercial scale systems for blast furnace slag treatment: Dry slag granulation vs. water quenching", *Applied Energy*, c. 171, ss. 314-324, Haz. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.079.
- [3].I. J. McDonald ve A. Werner, "DRY SLAG GRANULATION WITH HEAT RECOVERY", içinde *Anais dos Seminários de Redução, Minério de Ferro e Aglomeração*, Rio de Janeiro, Eyl. 2017, ss. 286-295. doi: 10.5151/2594-357X-26526.
- [4].M. Barati, S. Esfahani, ve T. A. Utigard, "Energy recovery from high temperature slags", s. 26.
- [5].H. Zhang vd., "A review of waste heat recovery technologies towards molten slag in steel industry", *Applied Energy*, c. 112, ss. 956-966, Ara. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.02.019.
- [6].Z. Xiao, S. Wang, M. Li, Z. Wu, J. Zhao, ve L. Ma, "RESEARCH OVERVIEW ON RECOVERY OF WASTE HEAT FROM HIGH TEMPERATURE SLAG PARTICLES", s. 6, 2019.
- [7].F. F. Uysal ve S. Bahar, "CÜRUF ÇEŞİTLERİ VE KULLANIM ALANLARI", s. 16, 2018.
- [8].J. X. Liu, Q. B. Yu, C. X. Dou, ve R. Li, "Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of Apparatus for Recovering the Waste Heat of Blast Furnace Slag", *AMR*, c. 97-101, ss. 2343-2346, Mar. 2010, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.2343.

- [9].Environmental Business Division. (2022). Ecomaister. [http://ecomaister.com/eng/index/business\\_01\\_01.php](http://ecomaister.com/eng/index/business_01_01.php)
- [10].M. Barati ve S. Jahanshahi, "Granulation and Heat Recovery from Metallurgical Slags", *J. Sustain. Metall.*, c. 6, sy 2, ss. 191-206, Haz. 2020, doi: 10.1007/s40831-019-00256-4.
- [11].J. Liu, Q. Yu, Z. Zuo, F. Yang, W. Duan, ve Q. Qin, "Blast furnace slag obtained from dry granulation method as a component in slag cement", *Construction and Building Materials*, c. 131, ss. 381-387, Oca. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.040.
- [12].Y.-H. Feng, Z. Zhang, L. Qiu, ve X.-X. Zhang, "Heat recovery process modelling of semi-molten blast furnace slag in a moving bed using XDEM", *Energy*, c. 186, s. 115876, Kas. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.115876.
- [13].W. Dongxiang, X. Ling, H. Peng, Z. Cui, ve X. Yang, "High-temperature analogy experimental investigation on dry granulating characteristic of rotating disk for waste heat utilization of molten slag", *Applied Thermal Engineering*, c. 125, ss. 846-855, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.075.
- [14].J.-J. Wu, H. Wang, X. Zhu, Q. Liao, ve B. Ding, "Centrifugal granulation performance of liquid with various viscosities for heat recovery of blast furnace slag", *Applied Thermal Engineering*, c. 89, ss. 494-504, Eki. 2015, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.06.031.
- [15].Y. Tan, H. Wang, X. Zhu, Y.-W. Lv, Y.-D. Ding, ve Q. Liao, "Film fragmentation mode: The most suitable way for centrifugal granulation of large flow rate molten blast slag towards high-efficiency waste heat recovery for industrialization", *Applied Energy*, c. 276, s. 115454, Eki. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115454.
- [16].Cameron, I., Sukhram, M., Lefebvre, Kyle, & Davenport, W. (2019). *Blast Furnace Ironmaking: Analysis, Control, and Optimization* (1st ed.). Elsevier.
- [17].S. V. Lukin, N. I. Shestakov, ve E. M. Il'icheva, "Heat Exchange in the Granulation Chamber of an Installation for Slag Dry Granulation", *Metallurgist*, c. 63, sy 7-8, ss. 804-812, Kas. 2019, doi: 10.1007/s11015-019-00892-x.
- [18].X. Zhu, "Numerical study on solidification behaviors of a molten slag droplet in the centrifugal granulation and heat recovery system", *Applied Thermal Engineering*, s. 11, 2018.
- [19].Y. Pan, P. J. Witt, B. Kuan, ve D. Xie, "EFFECT OF FLOW AND OPERATING PARAMETERS ON THE SPREADING OF A VISCOUS LIQUID ON A SPINNING DISC", s. 8, 2012.
- [20].Y. Pan, "CFD Modeling of Melt Spreading Behavior on Spinning Discs and Cups for

Centrifugal Granulation of Molten Slag", *Journal of Sustainable Metallurgy*, s. 9.

- [21].H. Peng, X. Shan, J. Kang, X. Ling, ve D. Wang, "Influence of rotary disk configurations on droplets characteristics in molten slag granulation for waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering*, c. 135, ss. 269-279, May. 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.02.063.
- [22].R. Dhirhi, "Experimental study of rotating dry slag granulation unit: Operating regimes, particle size analysis and scale up", *Applied Thermal Engineering*, s. 9, 2016.
- [23].Cooksey, M. (t.y.). *Design and Operation of Dry Slag Granulation Pilot Plant*. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 14.
- [24].H.-F. Wang, Y.-H. Qi, ve D.-L. Yan, "Process and Equipment Design for the Dry Slag Granulation Technology", s. 8.
- [25].S. V. Lukin, A. V. Fokin, ve E. M. Il'icheva, "HEAT TRANSFER IN FLUIDIZED BEDS IN A DRY SLAG GRANULATION UNIT", s. 7.
- [26].Jahanshahi S, Xie D, Pan Y, Ridgeway P, Mathieso JG (2011) Dry slag granulation with integrated heat recovery. In: 1st international conference on energy efficiency and CO2 reduction in the steel industry—incorporated in METEC (The Steel Institute VDEh), p 7
- [27].Primetals, *Dry Slag Granulation 2021*.

## 304E ve 304U Paslanmaz Çelik Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin ve Gerilmeli Korozyon Davranışlarının İncelenmesi



Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Onur AY<sup>1</sup>,  
Burçin ÖZBAY KISASÖZ<sup>2</sup>, Alptekin KISASÖZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, <sup>3</sup>Kırklareli Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

Austenitic stainless steels especially; They are known for their high strength structures and high formability capabilities, as well as their resistance to corrosion. The most widely used AISI 304 austenitic stainless steel in the industry, 304E and 304U patented alloys containing 9% nickel by mass, suitable for deep drawing processes, showing the properties of AISI 304, have been developed with process development studies within Trinox Metal. These patented alloys provide full compatibility in deep drawing of cylindrical containers such as pots and deep drawing processes of angular containers such as sinks.

In this study, the stress corrosion cracking of 304E and 304U patented alloys was investigated and the material behavior and corrosion progression rates were tried to be revealed, especially in areas of use such as pressure vessels, where both mechanical stresses and corrosive effects are observed together.

### Özet

Östenitik paslanmaz çelikler özellikle; Yüksek mukavemetli yapıları ve yüksek şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin yanı sıra korozyona karşı dirençleri ile tanınırlar. Endüstride en yaygın kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, kütlece %9 nikel içeren, derin çekme işlemlerine uygun, AISI 304 özelliklerini gösteren 304E ve 304U patentli alaşımlar Trinox Metal bünyesinde proses geliştirme çalışmaları ile geliştirilmiştir. Bu patentli alaşımlar tencere gibi silindirik kapların derin çekmesinde ve lavabo gibi köşeli kapların derin çekme işlemlerinde tam uyumluluk sağlar.

Bu çalışmada, 304E ve 304U patentli alaşımların gerilmeli korozyon çatlama araştırılmış ve özellikle hem mekanik gerilmelerin hem de korozif etkilerin bir arada görüldüğü basınçlı kaplar gibi kullanım alanlarında malzeme davranışı ve korozyon ilerleme hızları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### 1. Giriş

Östenitik paslanmaz çelikler bileşiminde %12-25 Cr ve %8-25 Ni içeren ve paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanım alanına sahip üçlü Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. Bu alaşımların yapıları oda sıcaklığında ve kullanım koşullarında östenitik (YMK) yapıda kaldığı için östenitik olarak adlandırılır. Nikel elementi kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılma sırasında ortaya çıkan östenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bile farklı bir faza dönüşmeden yapısını korur. Soğuma esnasında östenit-ferrit dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler su verme yolu ile sertleştirilemezler. Aynı zamanda bu çelikler deformasyon sonucu oluşan martenzit yapıda bulunmadığı sürece manyetik özellik taşımazlar. Östenitik paslanmaz çelikler özellikle oksitleyici veya redükleyici ortamlarda iyi korozyon direncine sahiptir. Östenitik paslanmaz çelikler, karbonlu çeliklerden daha yüksek termal genleşme katsayısına daha düşük termal iletkenlik katsayısına, daha yüksek elektrik direncine ve daha düşük ergime noktasına sahiptirler[1,2,3]

Gerilmeli korozyon çatlağı, bir stresin ve reaktif bir ortamın eş zamanlı etkisinden dolayı çatlakların oluşması ve büyümesi olarak tanımlanır. Gerilmeli korozyon çatlağı, mekanik stres ve korozyon/oksidasyon reaksiyonlarının birleşik ve sinerjik etkileşimlerinin bir sonucudur. Malzemelerin türü, güç bindirme tipleri ve ortam türleri, başlama ve yayılma dahil olmak üzere gerilim korozyonu çatlağının oluşumunu etkiler[4,5].

Gerilmeli korozyon çatlağı (GKÇ), malzemelerin, ortamların ve mekaniğin birleşik ve sinerjik etkilerinin bir sonucudur. GKÇ'ndeki bireysel süreçler izole değil, birbiriyle ilişkilidir. Kayma oksidasyonu, oksidasyon penetrasyonu, stres-gerilme ile geliştirilmiş katı hal oksidasyonu, hidrojen ile ilgili mekanizma ve alaşımsızlaştırma mekanizması gibi çeşitli GKÇ mekanizmaları ve kontrol parametreleri geliştirilmektedir. GKÇ alt süreçlerini ve kontrol parametrelerini ölçmek için deneysel yaklaşımlar, analitik yaklaşımlar ve sayısal

simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir. GKÇ sistemleri için malzeme/ortam/yükleme koşullarının kombinasyonlarına bağlı olarak, geçici oksidasyon farklı kinetik yasalar doğrultusunda gerçekleşebilir ve çatlak ucu oksidasyonunun gelişmesi, fiziksel bozunma durumu, fiziksel-kimyasal bozunma durumu veya her ikisi ile gerçekleştirilebilir. Karmaşık GKÇ sistemleri için elementel mekanizma ve sinerjik etkiler ile ilgili olarak, sistematik çalışmalar yapılmıştır ve özellikle temel mekanizmalara dayalı çok ölçekli modelleme olmak üzere daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır[6,7,8,9,10,11,12].

Bu çalışmada ise müşteri istekleri doğrultusunda üretim, spesifik kalite beklentileri, derin çekme prosesleri sonrasında yüksek yüzey kalitesi ve tek seferde daha fazla derin çekilebilirlik gibi beklentileri karşılamak için Trinox Metal firması tarafından geliştirilmiş olan 304E ve 304U olarak patentlenmiş alaşımlarının stres korozyon çatlağına karşı davranışı incelenmiştir. Bu davranışlar incelenirken; kullanım alanlarından dolayı maruz kaldıkları kimyasal ve mekanik koşullardan dolayı yüksek değerlerde stres uygulanması için numuneler bir çok farklı kademede yüksek eğmeye maruz bırakılmıştır.

### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan paslanmaz çelik alaşımları Çizelge 1'de verildiği gibi isimlendirilmiştir.

Çizelge 1. Alaşımların numaralandırılması.

Alaşım	AISI 304-1	AISI 304-2	AISI 304L	304E	304U
Alaşım No	1	2	3	4	5

Farklı ısı işlem süresi ve sertleşme kabiliyetinin malzeme özelliklerine olan etkisini araştırmak için AISI-304, AISI-304L, 304E ve 304U alaşımlarının kimyasal analizleri yapılmış ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Numunelerin kimyasal bileşimleri (%ağ.)

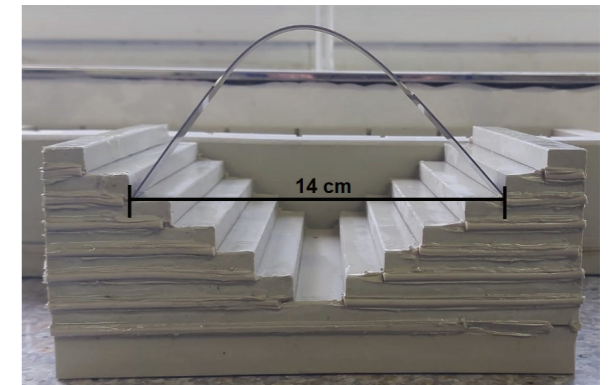
	C	Si	Mn	P	S
1	0,041	0,4	1,02	0,031	0,005
2	0,043	0,42	1,03	0,027	0,004
3	0,027	0,4	1,44	0,029	0,001
4	0,024	0,41	1,36	0,034	0,002
5	0,041	0,39	1,05	0,032	0,002
	Cr	Ni	Mo	Cu	N

1	18,25	8,05	0,03	0,06	0,048
2	18,08	8,02	0,04	0,05	0,047
3	18,1	8,05	0,03	0,02	0,066
4	18,12	8,05	0,04	0,03	0,06
5	18,2	8,03	0,03	0,05	0,057

Alaşımlar 20 merdaneli soğuk hadde makinesi ile 3 mm kalınlıktan 1 mm kalınlığa (%66,6) deforme edilmiştir. Soğuk haddelenen rulolar fırında sırasıyla 94, 82, 74, 79 ve 94 saniye kalacak şekilde 1100°C'de tavllanmış ve ardından asit tanklarından geçirilmiştir. Çözelti tavlama aşaması tamamlanan rulolar temperlenmek üzere skin pass hattına alınmıştır.

Üretilen numuneler ASTM G39-99 standardına göre gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi amacıyla Şekil 1'deki test düzeneğine kullanılarak gerilmeli korozyon deneyi uygulanmıştır.

Ağırlıkça %3,5 NaCl ve %1 HCl saf su ile karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti 80°C'ye ısıtılmış ve GKÇ deneyi 20 saat süresince uygulanmıştır. Test sonrasında, numune inceleme işlemleri öncesinde numuneler kurutulmuştur.



Şekil 1. Gerilmeli korozyon düzeneği.

Üretilen ve gerilmeli korozyon deneyi uygulanan numunelerin mikroyapı özelliklerini belirlemek amacıyla ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri uygulanmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin, öncelikle sertleştirme kabiliyeti incelenmiştir. Sertleştirme kabiliyeti östenitik paslanmaz çeliklerin içerdiği ferrit oranını gösteren bir parametre olup, nikel eşdeğeri ve krom eşdeğeri

verilerinin kullanılmasıyla Eşitlik 3'e göre hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 3'te verilmiştir[13].

$$\text{Nikel Eşdeğeri} = \text{Ni}\% + 0,5 * \text{Mn}\% + 30 * \text{C}\% \quad (1)$$

$$\text{Krom Eşdeğeri} = \text{Cr}\% + \text{Mo}\% + 1,5 * \text{Si}\% + 0,5 * \text{Nb}\% \quad (2)$$

$$\text{Sertleşme Kabiliyeti} = \frac{\text{Nikel Eşdeğeri}}{\text{Krom Eşdeğeri}} \quad (3)$$

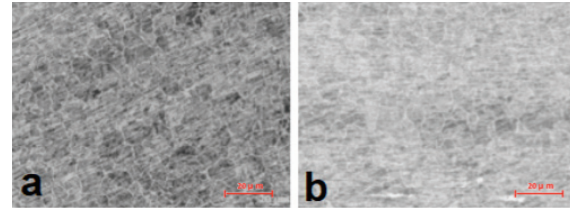
**Çizelge 3.** Numunelerin Sertleşme Kabiliyetleri

#	1	2	3	4	5
Sertleşme Kabiliyeti	59,6081	60,0267	61,7619	59,8242	61,2012

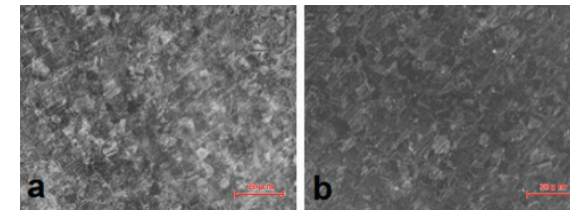
Sertleşme kabiliyeti olarak ifade edilen parametre, östenitik paslanmaz çeliklerde ısıtılma işlem parametreleri ve şekillenme kabiliyeti üzerinde etkili olan önemli bir işlem parametresidir.

4 ve 5 numaralı numune olarak verilen 304E ve 304U alaşımları, Trinox Metal firması tarafından patentlenmiş ve daha iyi yüzey özellikleri ile sertleşme kabiliyeti sunan alaşımlardır. 304U alaşımının sahip olduğu yüksek sertleşme kabiliyeti nedeniyle, alaşıma daha uzun bir ısıtılma işlem süresi uygulanmış, böylece daha iyi şekillenme kabiliyeti ortaya çıkmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'te 304E ve 304U alaşımlarının deformasyon işlemi ve ısıtılma işlem sonrası mikroyapı görüntüleri verilmiştir. 304U alaşımının deformasyon kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle elde edilen uzamış tane yapısı daha baskındır.



**Şekil 2.** a)304E Deformasyon Sonrası Mikroyapı b)304U Deformasyon Sonrası Mikroyapı (20x yakınlaştırılmış)



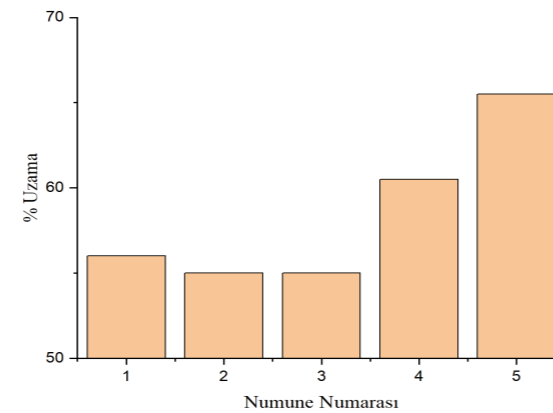
**Şekil 3.** a)304E Isıl İşlem Sonrası Mikroyapı b) 304U Isıl İşlem Sonrası Mikroyapı (20x yakınlaştırılmış)

Çalışmada kullanılan alaşımların mekanik özellikleri Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Numunelerin mekanik özellikleri.

#	Çekme Dayanım <sub>1</sub> (MPa)	Akma Dayanım <sub>1</sub> (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
1	725	367	56	183
2	709	359	55	175
3	676	344	55	181
4	694	351	66,5	186
5	719	366	60,5	181

Deneyel çalışmalarda kullanılan tüm alaşımlara, uygulanan işlemler sonucunda ortaya çıkan mekanik özellikleri belirlemek amacıyla haddeleme yönüne dik olacak şekilde çekme testleri uygulanmış ve Çizelge 4'te verilen değerler elde edilmiştir. Söz konusu değerler incelendiğinde Trinox Metal firması tarafından geliştirilen patentli alaşımlarda geleneksel östenitik paslanmaz çelik alaşımlarına göre oldukça yüksek bir uzama değeri elde edilmiştir. 304E ve 304U alaşımları süneklik özellikleri açısından oldukça öne çıkmıştır. Uzama değerlerindeki değişim Şekil 5'te açıkça görülmektedir.



**Şekil 4.** Mekanik testler sonucunda elde edilen uzama değerleri.



**Şekil 5.** Gerilmeli korozyon deneyleri sonrası numunelerin mikroyapı görüntüleri a) 1 numaralı numune b) 2 numaralı numune c) 3 numaralı numune d) 4 numaralı numune e) 5 numaralı numune.

Şekil 5'te gerilmeli korozyon deneyleri sonrasında numunelerden alınmış mikroyapı görüntüleri verilmiştir. İlgili standartlara göre gerilmeli korozyon sonrası numune mikroyapı görüntülerinde bir çatlak oluşumunun tespit edilmemesi gerekmektedir. Gerilmeli korozyon deneyleri sonrasında tüm numunelerin mikroyapılarında herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Numunelerin tamamı östenitik mikroyapıya sahiptir. Östenitik paslanmaz çelikler korozyon dayanımları oldukça yüksek olan alaşımlardır. Bu nedenle deneysel çalışmalar için seçilen alaşımların tüm gerilmeli korozyon deneyindeki saldırgan korozif ortama karşı bir direnç göstermiş ve çatlak oluşumu engellenmiştir.

Gerilmeli korozyon deneylerinde numunelerin maruz kaldığı gerilim değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

Numunelerin maruz kaldığı stres seviyesi standartta belirtilen formülden hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = 4(2E - K) \left[ \frac{k}{2} - \frac{2E-K}{12} \left( \frac{t}{H} \right) \right] \frac{t}{H} \quad (4)$$

$$(L - H)/H = (K/2E - K) - 1 \quad (5)$$

L = numune uzunluğu,  
H = destekler arası mesafe,  
t = numune kalınlığı,  
 $\varepsilon$  = maksimum çekme dayanımı,

$$K = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \zeta)^{-1/2} d\zeta \quad (6)$$

$$E = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \zeta)^{1/2} d\zeta \quad (7)$$

k = sin  $\theta/2$ ,  
 $\theta$  = numunenin maksimum eğimi,  
 $\zeta$  = integral parametresi.

L=19 cm,  
H=14 cm,  
t=0,9 mm,  
 $\theta=54^\circ$   
ise

$$K = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \zeta)^{-1/2} d\zeta = 96,93 \quad (8)$$

$$E = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \zeta)^{1/2} d\zeta = 83,8 \quad (9)$$

ise

$$\varepsilon = 4(2E - K) \left[ \frac{k}{2} - \frac{2E-K}{12} \left( \frac{t}{H} \right) \right] \frac{t}{H} = 0,368 \quad (10)$$

$$(L - H)/H = (K/2E - K) - 1 = 0,368 \quad (11)$$

Yapılan mekanik testler sonucunda elastiklik modülü aşağıdaki formüle (Hooke Kanunu) göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (12)$$

**Çizelge 5.** Numunelerin elastiklik modülleri

Numune No.	1	2	3	4	5
Elastiklik Modülü (GPa)	213	204	227	225	223

Uygulanan mekanik testlerdeki verilerden elde edilen verilerden hesaplanan elastiklik modülü ve Hooke Kanunu'na uygun olarak gerilmeli korozyon çatlak standardındaki formülden hesaplanan gerilim ile numunelere uygulanan gerilim hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (13)$$

**Çizelge 6.** Numunelere uygulanan gerilim değerleri

Numune No.	1	2	3	4	5
Uygulanan Gerilim (GPa)	78,384	75,072	83,536	82,8	82,064

#### 4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada geleneksel östenitik paslanmaz çelik alaşımları ile Trinox Metal firması tarafından patentlenen

304E ve 304U alaşımlarının mekanik özellikleri ve gerilmeli korozyon davranışları araştırılmıştır.

Alaşımların gerilmeli korozyon davranışları incelendiğinde, numunelerde korozyon ortamında herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiş ve alaşımların tamamının ilgili ortamda yeterli dirence sahip olduğu belirlenmiştir.

Mekanik özellikler açısından incelendiğinde ise patentli alaşımlar olan 304E ve 304U alaşımlarının geleneksel alaşımlara göre oldukça iyi süneklik özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

#### Kaynaklar

[1] Şen, M. (2010). Aısı 304 Tipi Öztenik Paslanmaz Çeliklerde Soğuk Şekillendirme Miktarının Korozyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Retrieved 25 March 2022, from <http://hdl.handle.net/11527/9161>

[2] Dinçer, İ., Güraydın, B., Ay, O., Ekici, H., & Paçman, E. (2021). Determination of Heat Treatment Parameters of Cold Rolled AISI-304 Stainless Steel Plate by Electrical Resistance. In 9th International Advanced Technologies Symposium (pp. 14-19). 9th International Advanced Technologies Symposium. Retrieved from <http://iats9.cieaconference.com/images/Full-text-Proceedings-Book.pdf>

[3] Ay, O., Ekici, H., Güraydın, B., Güler, E., Daniş, S., Orman, K., & Dinçer, M. (2020). Investigation of Mechanical Properties of AISI 304 Stainless Steel Depending on Cold Deformation Rate, Phase Quantity and Heat Treatment Processes. *Journal Of Mineral And Material Science*, 1(5).

[4] Nga, N., Shinohara, T., & Lien, L. (2017). Effects of Environment Factors on Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in Atmospheric Environments. *Zairyo-To-Kankyo*, 66(6), 209-213. doi: 10.3323/jcorr.66.209

[5] Shoji, T., Lu, Z., & Peng, Q. (2011). Factors affecting stress corrosion cracking (SCC) and fundamental mechanistic understanding of stainless steels. *Stress Corrosion Cracking*, 245-272. doi: 10.1533/9780857093769.3.245

[6] Jones, R. (2017). *Stress Corrosion Cracking*. Materials Park, OH: ASM International.

[7] Revie, R., & Uhlig, H. (2011). *Uhlig's corrosion handbook*. Hoboken, N.J: Wiley.

[8] Shoji, T. (2010). Localized and accelerated oxidation and stress corrosion cracking-role of stress, strain, hydrogen and microstructures. *Proceedings of the Quantitative Micro-*

*Nano (QMN) Approach to Predicting Stress Corrosion Cracking in Water-Cooled Nuclear Plants.*

[9] Andresen, P. L., & Ford, F. P. (1988). Life prediction by mechanistic modeling and system monitoring of environmental cracking of iron and nickel alloys in aqueous systems. *Materials Science and Engineering: A*, 103(1), 167-184.

[10]Shoji, T. (2003). Progress in the mechanistic understanding of BWR SCC and its implication to the prediction of SCC growth behavior in plants. In 11th Int'l. Symp. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors, Stevenson, WA, USA, NACE, August 10-14, 2003.

[11] Scott, P. M. (2003). On the mechanism of stress corrosion crack initiation and growth in alloy 600 exposed to PWR primary water. In Proc. 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors, Stevenson, WA, USA, August 10-14, 2003.

[12] Das, N. K., Suzuki, K., Takeda, Y., Ogawa, K., & Shoji, T. (2008). Quantum chemical molecular dynamics study of stress corrosion cracking behavior for fcc Fe and Fe-Cr surfaces. *Corrosion Science*, 50(6), 1701-1706.

## Review of Neutral Ramming Mass Application for Induction Furnaces and Their Wear Mechanism

İndüksiyon Ocakları için Nötr Astar Uygulaması ve Bunların Aşınma Mekanizmalarının Gözden Geçirilmesi



Nuri SARIOĞLU<sup>1</sup>, Uğur CENGİZ<sup>2</sup>, Veli KARA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KÜMAŞ Manyezit Sanayi A.Ş., <sup>2</sup>Bilecik Demir Çelik - Türkiye

#### Abstract

According to the 11th development plan, the total production of the foundry industry in Turkey is increasing over time. Steel production has a great place in this increase. We all know that as those dealing with the refractory business, where steel production increases, more performance is required from the material used. For this purpose, the choice of materials, their application, and the practices applied during the usage phase are the parameters that determine the final product's performance.

In this scope, three main topics that will affect material performance will be examined. The effects of the raw material used in the product and the segregation that may occur during or after production on the final use will be examined within the manufacturer's scope. From the end user's perspective, incorrect template (former) and compression-induced (ramming operation) wear mechanisms will be discussed in detail during the application phase of the product. In addition, the effects of process parameters on product performance will be discussed.

This review aims to guide end-users and product manufacturers by examining the material selection and application, practices during use, and emerging wear mechanisms.

#### 1. Introduction

Refractory materials are becoming increasingly important in the steel and cement industries, including product quality, energy efficiency, and cost-effectiveness. The iron and steel industry consumes almost 70% of the world's refractory production [1]. Induction furnaces have more attraction due to their high efficiency, low energy consumption, easy operational control, and compatibility with a wide variety of scrap kinds in steel production in recent years. Due to their ease of use, low lining manufacture costs, and lack of interconnection locations, dry vibrating mixtures are one the most popular refractory lining type in induction furnaces. Dry vibrating mixes (DVM) for induction furnace linings might be silica, magnesite, or alumina-based. The growing

demand for high-quality alloy steel casting in the induction furnace route necessitates a higher casting temperature (up to 1750°C) and a longer residence period (up to 5-6 hours). As a result, the refractory type had to be changed from traditional silica or dry magnesia mixes to neutral alumina mixes. The development of spinel creating alumina DVM has resulted from increased metallurgical demand, which has resulted in higher corrosion by more aggressive slag. The techno-commercial benefits of these principles are presented in table 1. At the same time, industrial investigations have demonstrated that when pure alumina DVM is changed to alumina spinel producing DVM, considerable service life increases.

Due to their excellent thermal shock resistance, strong corrosion resistance, longer service life, and good chemical stability in acidic and basic environments, alumina-based neutral linings with in situ MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel forming capabilities have become materials of choice. DVM with spinal formation contains alumina sources (such as white fused alumina, fused brown alumina, tabular alumina), magnesia sources (such as dead burned magnesia, seawater magnesia, fused magnesia), additives (such as sintering aids).

**Table 1.** Comparison of different lining designs for DVM [2].

Properties	Silica	Magnesia	Alumina	Alumina-Spinel
Resistance to thermal shock	++	--	+	++
Resistance to acidic slag	++	--	+	++
Resistance to basic slag	-	++	+	++
Resistance to abrasion	-	+	++	++
Price	++	+	-	-



The main benefit of these DVM is that they are lined in a dry condition and do not contain any binders that require water to develop a green strength. Vibration is the only way to densify these materials. An optimized particle size distribution achieves an adequate green strength. Given that these materials serve as a protective layer in furnaces against liquid metal and slag compositions, a thermal gradient between the hot face (process temperatures between 1550 and 1750 °C) and the cold front (temperatures as low as 300 °C) is visible. As a result, the lining is not constant during service, and the degree of creation of a ceramic structure is only evident at certain temperatures [3].

Trisection of the lining forms in the ideal case, with a contact zone between the lining and the coil that maintains its safety function throughout the furnace's lifespan, and a spinel formation that produces a barrier against penetration limited to the front layers (worn lining at the hot face):

- A complete matrix transition to spinel ( $MgAl_2O_4$ ) occurs in the sintering layer at the hot face and a glass phase. This process is aided by a solution and the slag's corrosive effects. The crystal chemistry of spinels allows foreign ions from the slag to be incorporated, resulting in diminished retractability in the first line.

- The following fritted layer is a low sintered component of the wearing lining with limited spinel development and increased porosity. The composition of the fire-resistant material determines its stability.

- The DVM's unaltered layer is a mechanically compacted material that lacks a ceramic link.

$MgAl_2O_4$  spinel phase shows excellent chemical, thermal, and mechanical properties. Its lattice structure remains the same in elevated temperatures. When in contact with molten steelmaking slag, the in situ spinels generated in the alumina ramming mix at service temperature have a faulty structure and create substitutional solid solutions [4]. ( $Mg$ ,  $Mn$ ,  $Fe$ )O( $Al$ ,  $Fe$ ) $_2O_3$  is formed when  $Fe^{2+}$  and  $Mn^{2+}$  cations migrate into the A-site of spinel. In addition, excess  $Al_2O_3$  in the slag reacts with  $Ca^{2+}$  cations in the slag to generate  $CA_6$ .  $MnO$ ,  $FeO$ , and  $CaO$  depletion raise the slag's relative  $SiO_2$  content, limiting slag penetration and lowering slag corrosion [4, 5].

## 2. Effect of Sintering Aids

The literature search shows a detailed summary of how nearly all elements, particularly oxides, can influence. Particular fluorides and chlorides, such as  $AlF_3$  [6], metal fluorides,  $AlCl_3$  [7], and chlorine vapors, are known for effective temperature lowering. Boron compounds ( $B_2O_3$ ) have a similar effect [8]. The production temperature of spinel might be decreased to 900 °C in the presence of these additions. The dosage of sintering aids needs to be regulated to avoid collateral decreasing refractoriness.

## 3. Effect of Reducing Atmosphere

The inclusion of carbon reduces the normal  $MgO$  reduction temperature from 1800 °C to 1500 °C. When tar-impregnated magnesia bricks were burned away, this was demonstrated. Reduced circumstances may also lead to early spinel formation since vaporous  $MgO$  has higher reactivity than solid  $MgO$  [9].

## 4. Effect of Water Content in DVM

The hydration of  $MgO$  into  $Mg(OH)_2$  starts as early as during heating up at low temperatures in the presence of water. Continuing to heat the  $Mg(OH)_2$  to 800 °C, it decomposes into  $MgO+H_2O$ . The released water will move to the furnace's cold end, hydrating the reactive  $MgO$  in the DVM layer that has remained unaltered [10]. The amount of hydrated  $MgO$  will inevitably arise. Spinel generation is possible at lower temperatures thanks to the extremely reactive microcrystalline structure of this newly formed  $MgO$  (caustic magnesia). In literature, this issue described early spinel production at temperatures as low as 400–500 °C, although identifying a spinel phase could not be validated with the RDA techniques.

Unusual oxides, especially fluorides and chlorides, are known to lower the reaction temperature effectively. High percentages of  $SiO_2$  in magnesia interstitial fill invariably accompanied by modest quantities of  $CaO$  and more rarely with alkalis have been generally identified as DVM components. The impurity  $SiO_2$  found in the matrix of the cold face is a product of sample processing.

The consequences of a reduced atmosphere in the furnace remain unknown, which must be significant. A hydration process must have been engaged in before sintering, as evidenced by a constantly occurring crack pattern in magnesia grains.

## 5. Effect of Porosity of Raw Materials

The selection of raw materials is important due to physical properties determined by production root and raw material selection. For instance, white fused alumina (WFA) has a higher purity level, but its bulk density can vary with its porosity (see figure 1) between 3.5 to 3.9 g/cm<sup>3</sup>. Brown Fused Alumina has a lower porosity amount; however, its purity is less than its competitors (tabular alumina and WFA) [11]. These impurities (such as  $TiO_2$  and  $SiO_2$ ) [11] can act as a sintering aid, so it is not a desirable situation for DVM.

According to the literature, small pores of less than 1 μm can practically never be permeated by normal steel slags or metals and hence do not encourage corrosion by providing more surface area [12].

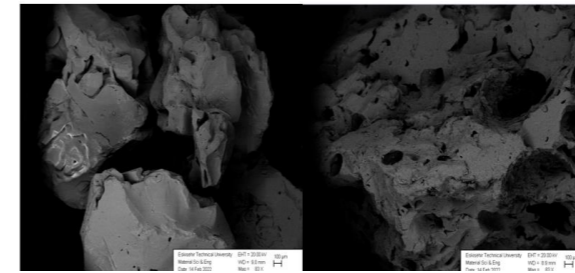


Figure 1. SEM images showing varying porosity values in WFAs from different manufacturers.

## 6. Induction Furnaces and Refractory Design

The use of electromagnetic power in the steel industry has increased with the advancement of smelting technology. Electromagnetic power EMF provides heat, mixing, control of flow rate, shape control of the molten metal during steelmaking, and creates the energy that enables melting in induction furnaces.

For more than thirty years, induction furnaces have caused many problems that are not very common. One of the main reasons for this is that the melting techniques used in induction furnaces are different from those used in other methods, directly affecting the refractory performance. The most important of these differences is the electrical field passing through the electrically insulating refractory materials. Induction furnaces can quickly reach refractory decomposition temperature without warning [13]. Induction furnaces are the most useful devices used for melting. These furnaces are computer-controlled electrically efficient, and they are considered the most environmentally friendly. In induction furnaces, there is an induction coil grout with a thickness of 1.5-2.5 cm; it forms the inner wall of the Induction Furnace and expands with temperature, and shrinks when cooled. The materials used as coil grout must resist a temperature of 1800°C to prevent leaks. It is also the intermediate layer that compensates for the coil grout, the induction coil's mechanical movement, and the thermal expansion of the refractory lining.

Three different lining materials are generally used in the melting zone (crucible) induction furnaces. These are generally magnesia linings as basic refractory, silica linings as acidic refractory, alumina/magnesium alumina spinel linings as neutral refractory.

The refractoriness degree of magnesium aluminate spinel and silica are 1900°C and 1650°C, respectively. The working temperature for steel is around 1550°C. Silica refractories show good thermal shock properties below 1500°C and have a long service life.

Table 2. Solubility of  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$  refractories in  $FeO$  and  $MnO$  at 1500°C [14].

	Solubility in FeO		Solubility in MnO
$Al_2O_3$	11 %	$Al_2O_3$	0 %
$MgO$	5 %	$MgO$	0 %
$SiO_2$	40 %	$SiO_2$	25 %

However, table 2 shows that the high solubility of  $SiO_2$  in  $FeO$  and  $MnO$  reduces this type of refractor preference. Used in the iron and steel industry, components of DVM alumina-based magnesium aluminate spinel refractory materials are corundum (white fused alumina, brown fused alumina, tabular alumina), magnesia (sintered magnesia, seawater magnesia, molten magnesia), additives, and chemical binders. These components' purity, grain size, and particle size distribution directly affect the refractoriness performance.

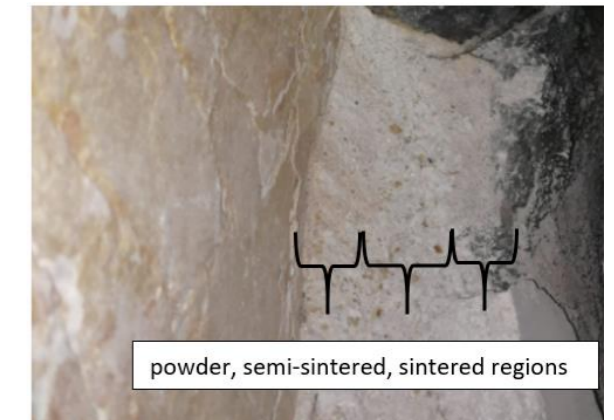


Figure 2. Image of sintered, semi-sintered, and powder DVM after standard usage.

In the alumina-based spinel refractory sintered according to the grain size distribution, the aggregates remain alumina, and the matrix turns into the spinel structure. Figure 2 indicates the sintered, semi-sintered, and powder regions in the refractory samples taken from BDC furnaces. If the grain size distribution is not homogeneous, the wear on the furnace lining will not be homogeneous (figure 3). Regional grain disintegration causes sudden local erosions in the furnace lining.



**Figure 3.** Image of induction furnace where wear is not homogeneous due to non-uniform grain distribution.

The sinter, semi-sinter, and powder region formed in the lining during the sintering phase affect the furnace life and production performance. The powder zone in the back layer acts as a barrier when steel penetrates the furnace lining. This existing powder zone prevents the liquid steel and coils from coming into contact.

Grain size distribution is also important for good packaging. In well-packed samples with an appropriate grain size distribution, the refractory life will be extended as there will be a decrease in pores structure after sintering. Particle size, firing temperature, and firing time affect the spinelization and sintering kinetics of stoichiometric particulate mixtures of MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. These parameters are important for designing neutral ramming mixes of induction furnace linings. In neutral type dry vibrating mixes, spinel formation and sintering are two competing mechanisms. Spinelization is important because it provides the bonds necessary for strength development in the lining. Also, spinel and alumina phases have different coefficients of thermal expansion, which leads to the formation of microcracks at elevated temperatures. Thus, the microcrack network formed provides a hardening mechanism and improves the mechanical properties of the refractory structure [15].

## 7. Conclusion

Information was given about the DVM raw materials refractory of induction furnaces used in steel production. The currently used neutral ramming mixtures and the possible input products to be included in them and their advantages and disadvantages are listed.

The importance of material selection according to the usage area of the product varies based on the slag composition. In addition, parameters such as the temperature at which the product will operate and how long it will be exposed to this temperature are important design parameters in selecting raw materials.

Parameters such as the particle size distribution of the product used, the impurities in it, the production method of the raw material appear as input product-based design parameters.

Spinel phase formation reactions that will occur during the use of the product and parameters such as humidity that will affect them are other important issues to be considered.

In addition, the issues related to the use of products that can help sintering or other parameters that will change the sintering depth have been mentioned above.

Suppose the design studies to be carried out considering the issues mentioned above and the working conditions at the end-use place of the product are realized within the determining design parameters. In that case, it will be possible to get the maximum efficiency from the product.

## References

- [1] Deneen, M. A., & Gross, A. C. (2010). Refractory Materials: The Global Market, The Global Industry. *Business Economics*, 45(4), 288-295. <https://doi.org/10.1057/be.2010.30>
- [2] Munuswami, M., Chatterjee, S., Mukherjee, S., & Buhr, A. (2014). Role of Tabular Alumina as a suitable aggregate for emerging applications—focus on dry ramming mix.
- [3] O.Krause, J.Bach, K.Rieke, Performance of spinel forming dry vibrating masses in crucible induction furnaces of foundries. in: Proceedings of the 47th International Colloquium on Refractories, 2004, pp.175–178.
- [4] Matsumoto, O., Isobe, T., Nishitani, T., and Genba, T., "Alumina-spinel monolithic refractories". US Patent 4 990 475 (1991).
- [5] Kurata, K., Matsui, T., and Sakki, S., "Castable lining technique to bottom of teeming ladle", *Taikabutsu Overseas*, 12, pp.29-39 (1992).
- [6] W. T. Bakker and J. G. Lindsay, "Reactive Magnesia Spinel, Preparation and Properties," *Bull. Am. Ceram. Soc.*, 46, 1094–7 (1967).
- [7] I. Ganesh, S. Bhattacharjee, B. P. Saha, R. Johnson, and Y. R. Mahajan, "A New Sintering Aid for Magnesia Aluminate Spinel," *Ceram. Int.*, 27, 773–9 (2001).
- [8] Bhattacharya, G., Zhang, S., Smith, M. E., Jayaseelan, D. D., & Lee, W. E. (2006). Mineralizing magnesium aluminate spinel formation with b<sub>2</sub>o<sub>3</sub>. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(10), 3034-3042. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.01189.x>
- [9] Lee, W. E., & Zhang, S. (1999). Melt corrosion of oxide and oxide-carbon refractories. *International Materials Reviews*, 44(3), 77-104. <https://doi.org/10.1179/095066099101528234>
- [10] Li, J.-G., Ikegami, T., Lee, J.-H., Mori, T., & Yajima, Y. (2001). A wet-chemical process yielding reactive magnesium aluminate spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) powder. *Ceramics International*, 27(4), 481-489. [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(00\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(00)00107-3)
- [11] Schnabel, M., Buhr, A., Schmidtmeier, D., Chatterjee, S., & Dutton, J. (2015). Perceptions and characteristics of fused and sintered refractory aggregates. *Refractories Worldforum*, 7, 75-81.

[12] Schnabel, M., Klaus, S., Buhr, A., Schmidtmeier, D., & Dutton, J. (2016). Five Years after Market Launch—Experiences with BSA 96. *Refractories Worldforum*, 3, 87-92.

[13] Stark, R. (1994). Optimizing Induction Furnace Refractories. *Modern Casting(USA)*, 84(6), 30-31.

[14] Liu, S. H., Fruehan, R. J., Morales, A., & Ozturk, B. (2001). Measurement of FeO activity and solubility of MgO in smelting slags. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 32(1), 31-36.

[15] Zhang, S., Lee, W.E., "Spinel Containing Refractories", *Refractories Handbook*, (Ed: Schacht, C.A.), Marcel Decker Inc., New York, ABD, 11-38, 2004

# Laser OES and the End of Post-Mortem Process Management – How EAF and LF Can Be Operated More Efficient with Rapid, In-Situ Slag Analysis



**Alexander SCHLEMMINGER**

QuantoLux Innovation - Germany

## Abstract

Efficiency in terms of resources, time, energy and lifespan of production facilities is one of the key factors for success in today's steel production. Due to the rapid rise in prices for energy and raw materials steel mill and melt shop managers are facing this demand more than ever.

## 1. Introduction

But there is more to it. New sustainability and circular economy requirements are also forcing managers to increase the use of secondary raw materials as well as B-quality for primary raw materials.

## 2. Main

### 2.1. Today's issues with post-mortem analysis

In order to be able to guarantee a consistently high product quality despite this decreasing purity of the input materials, buffers and additional reserves must be integrated into the process control. In short, the process is operating in a wider process window, which results in a loss of efficiency.

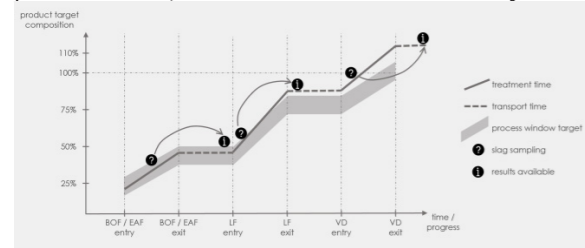


Figure 1. Process deviation due to post-mortem analysis

If these buffers could be reduced even slightly, significant savings of 0.5-3% in relation to total production costs are possible, depending on the specific production process.

But how can such an optimization be realized? To manage the steelmaking process, a wide variety of parameters are monitored in-situ. The analysis of the slag has not been available for in-situ process management in the past.

Due to a particular time-consuming analysis of established analysis approaches, only a few measurements could be performed on a sample in the given timeframe.



Figure 2. Exemplary display of measuring points on a heterogeneous sample.

If a sample was not homogenized sufficiently, the single measurements tend to deviate too much to deliver a stable and reliable analysis result. Therefore, the samples had to be homogenized physically prior to the analysis.



Figure 3. Physical sample homogenization steps

As displayed in figure 3, the homogenization is the major influence on the overall sample analysis time. Not only the crushing, grinding, and pressing times had severe impact on the time consumption. Also handling times and other secondary steps like cooling, packaging, de-metallization and splitting cause major time losses.

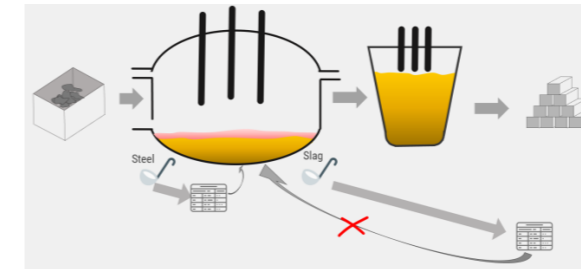


Figure 4. Post-mortem slag analysis / slag pathology

Due to the long analysis time of at least 7 minutes, most of the steel mills the analysis could not wait for the analysis. They had to further process the melt or even bring it to the subsequent processing steps. This slag pathology is particularly problematic since the basicity of the slag contains extensive information about the status of the metallurgical processes.

### 2.2. The smart alternative

The alternative can be the Laser Optical Emission Spectroscopy (Laser OES) which is the further development of the well-known analytical technology

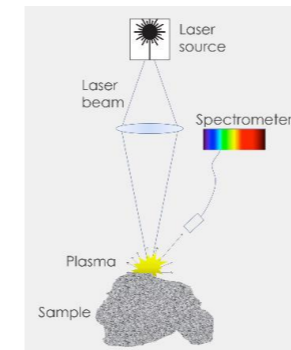


Figure 5. Laser OES principle

Spark OES. All in all the Laser OES works equivalent to Spark OES, with the difference, that a laser generates the plasma instead of a spark. Due to the lasers enormous measuring speed, the Laser OES can easily generate far more than 10,000 measuring points in one minute.

The Laser OES technology is already the approach of choice to distinguish certain Aluminium Alloys based on their light element content.

For slag analysis purposes a crushed sample is placed in a Laser OES analyzer. Then various points on the surface are measured within a few seconds.

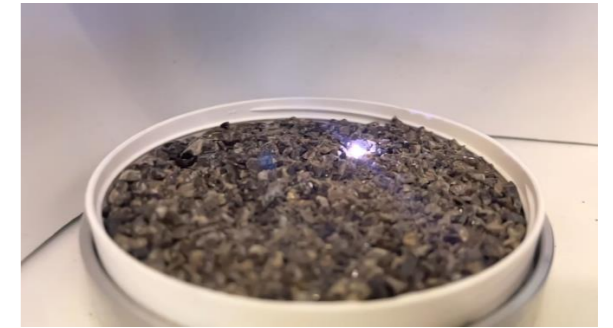


Figure 6. Laser OES measurement on a slag sample

The acceleration is then achieved by substituting the previously necessary physical homogenization of samples with the digital homogenization of the surface measurement points.

Among other things, because of the high stability of the laser excitation, amazing analysis performance results can be achieved.

Quality	Sample ID	Mn	Si	P	S	Cr	Fe	Al
ELEMENT 1	12.06	0.183	1.25	12.75	15.43	12.42	12.62	12.21
ELEMENT 2	8.63	0.135	1.57	8.68	8.68	8.63	8.61	8.45
ELEMENT 3	7.01	0.084	1.25	7.03	7.01	6.96	7.02	7.13
ELEMENT 4	26.34	0.211	1.13	26.57	26.68	27.76	26.40	26.30
ELEMENT 5	1.71	0.166	2.15	1.67	1.67	1.65	1.68	1.68
ELEMENT 6	2.66	0.0223	1.22	2.62	2.71	2.66	2.66	2.63
ELEMENT 7	33.15	0.433	1.31	32.79	32.82	33.66	33.22	33.66

Figure 7. Repeatability measurements on a slag sample

### 2.3. benefits with in-situ process control

In the future, with the sample preparation free slag analysis and the associated in-situ process control, the process can be adjusted more precisely and in smaller steps.

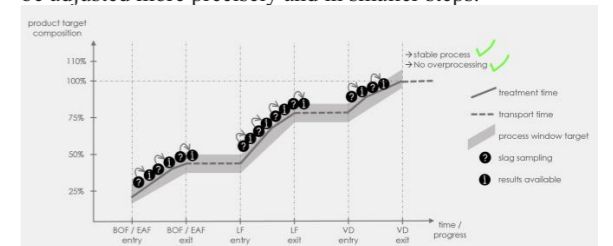


Figure 8. Closely meshed analysis, in-situ process adaption and small process windows

As displayed in Figure 8, this leads to a precise, optimum process window. Buffers can be reduced, efficiency increased and product quality assured.

### 2.4. benefits with in-situ process control

This closed meshed monitoring avoids e.g., overtreatment during desulfurization in the Ladle Furnace.

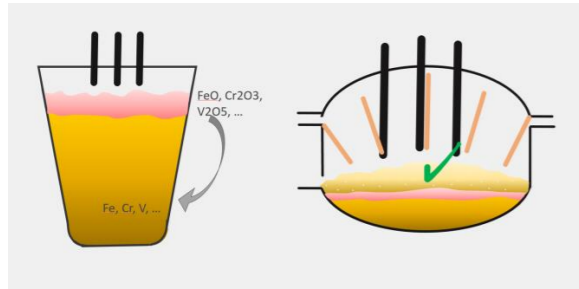


Figure 9. Benefits – low oxidization – optimum foaming

Also oxidation of Fe and alloying elements is prevented. An optimum slag foaming reduces the required energy input by effectively isolating the melt.

Furthermore, the refractory lifetime can be increased e.g. by optimized basicity and converter slag splashing on demand.

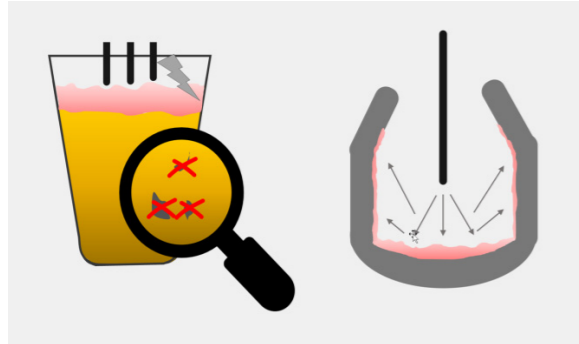


Figure 10. Benefits – precise basicity – converter splashing on demand

Last but not least, the use of unnecessary slag formers is avoided. Therefore, less limestone has to be purchased, melted and later on disposed which saves money, energy and space in landfill.

### 3. Conclusion

Laser OES, a modern photonic technology helps to leverage optimization potentials in the centuries-old steel production process.

## Sultan Ahmet Cami' sinde Taşıyıcı Demir Elemanların Karakterizasyon Çalışmaları

Characterization Studies of Bearing Iron Elements in Sultan Ahmet Mosque



Çetin BAĞLAN<sup>1</sup>, Ömer Faruk SERT<sup>2</sup>, Oğuz IŞIK<sup>1</sup>, Sinan ARAS<sup>1</sup>, Özkan KESEN<sup>1</sup>, Can Şakir BİNAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları, <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

### Abstract

The preservation of cultural artifacts, which are the common heritage of humanity from the past to the present, is a universal issue. For the preservation of these works, certain restoration works are currently being carried out that are not specific to the structure. At the same time, these historical buildings allow interdisciplinary work of many professions. Iron elements that appeared during the restoration work from historical buildings are important for the preservation of the structure.

In this study, it is aimed to investigate the metallurgical properties of iron-based fasteners used in historical buildings of the Ottoman period. In this direction, chemical analysis, hardness tests and microstructure studies were carried out on the iron fasteners obtained during the restoration from the Sultan Ahmed Mosque.

In the microstructure investigations, the cementation (carburization) changes that occurred during the heat treatment and forging processes made in the production technology of that time, the voids formed in the structure and the inclusions were determined.

It has been determined that the wrought irons used in masonry stone building materials have been corroded in the time until today and a layer of iron oxide has formed on the outer surfaces.

It was determined that the applied casting processes and the heating and cooling processes showed heterogeneous distribution of phases in the cast iron microstructure.

The results shows there are changes in the microstructure of the structures depending on the forging process and heating-cooling processes, and it has been determined that there are many inclusions depending on this process.

We know that inclusion numbers and microstructural differences are the most important parameters affecting mechanical properties.

### Özet

Geçmişten günümüze ulaşan insanlığın ortak mirası olan kültürel eserlerin korunması evrensel bir konudur. Bu eserlerin korunması için hali hazırda yapıya özgü olmayan belirli restorasyon çalışmaları yürütülmektedir. Aynı zamanda bu eserler kendi içerisinde birçok meslek grubunu ilgilendiren birçok tarihsel ve bilimsel gelişme içerdiğinden dolayı önemli araştırmalara olanak sağlamaktadır. Yapılan koruma ve onarım çalışmaları sırasında çıkarılan numuneler yapının uzun yıllar bütünlüğünü koruması açısından bu anlamda büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma tarihi eserlerde Osmanlı mimarisinde kullanılan demir esaslı bağlantı elemanların metalurjik olarak incelenmesini içermektedir. Bu doğrultuda Sultan Ahmet Cami restorasyon çalışmaları sırasında değiştirilmesi kararı alınan demir bağlantı elemanlarına Kimyasal analiz, sertlik taramaları ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Osmanlı döneminde yapı malzemesi olarak kullanılan dövme demirlerin kalitesi, mikroyapı ve mekanik özellikleri tespit edilmiş olup o dönemki şartlarda demir üretim teknoloji belirlenmiş ve günümüz teknolojisi ile karşılaştırılmıştır. Mikroyapı incelemelerin de o dönemki üretim teknolojisinde yapılan ısıtma ve dövme işlemleri esnasında meydana gelen sementasyon(karbürizasyon) değişimleri, yapıda oluşan boşluklar ve meydana gelen inklüzyonlar tespit edilmiştir. Yığma taş yapı malzemelerinde kullanılan dövme demirlerin günümüze kadar geçen sürede korozyona uğradığı ve dış bölgelerinde demir oksit tabakası meydana geldiği tespit edilmiştir.

Geçmiş zamanda uygulanan döküm prosesleri ve ısıtma işlemleri dökme demir mikroyapısında fazların heterojen dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Dövme demirlerin dövme sırasında ısıtma-soğutma işlemleri sonrasında mikroyapısında meydana gelen boşluklar, inklüzyon oluşumları ve gerçekleşen korozyon mekanizmalarının bağlantı elemanlarının zaman ile deformasyona uğradığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda dövme işlemine ve farklı soğuma hızlarına bağlı olarak birbirinden

farklı yapılar oluştuğu ve mekanik özellikleri doğrudan etkilediği görülmektedir.

## 1. Giriş

Tarihi demirler ve günümüz demirleri kıyaslandığında her ikisi de demir karbon alaşımları olmasına rağmen tamamen farklı iki malzeme olarak kabul edilirler. Demir dövme ve şekillendirme günümüz teknolojilerinden çok uzakta olup daha çok döküm ustalarının el kabiliyetine bağlı ürünler çıkmaktaydı. Cevherden demir indirgeme yöntemleri benzer olsa da sonrasında gerçekleştirilen döküm ve dövme işlemleri arasında prosesler sırasında sıcaklık zaman gibi parametreler kontrol altında olmadığı için farklılıklar olabilmektedir. Burada cevherden gelen ve dövme sırasında yapılan ısıtma ve soğutma işlemlerinden dolayı; iç yapıdaki homojenlik, tane boyutu gibi farklılıklar gözlemlenebilmektedir [1].

Eski çağlardan beri yığma yapıların yapımında demir bağlantı elemanları kullanılmıştır [2]. Orta çağda tarihi yapılarda demir bağlantı elemanları; takviye elemanı, kelepçe, birleştirici gergi demiri olarak kullanılmıştır [3-4-5].

Osmanlı mimarisinde 15. yy dan itibaren yapı ve yapı malzemesi teknolojinde yaşanan gelişmeler neticesinde strüktürel amaçlı demir elemanlar kullanılmaya başlanmıştır. Erken Osmanlı yapı tekniğinde demir kullanımı kısıtlı olmakla birlikte bu dönemde kesme taş duvarlar harç kullanılmadan kenet ve zıvana bağlantı elemanları ile örülmeye başlanmıştır. Edirne Üç Şerefeli Camii ile demir elemanlara ilk defa kenet ve zıvana dışında kemer gergilerinde ve kubbe kuşaklamasında rastlanılmaktadır [6]. İleriki dönemlerde demir elemanlar yardımcı yapı malzemesi olmaktan çıkmış ana yapı malzemesi haline gelmiştir. Zıvana ve kenetlerin yapılarda kullanımı standartlaşmış, demir gergi elemanların, kubbe sathlarında kuşaklamaların, duvar içlerinde kılıçlamaların kullanımı yaygınlaşmıştır [7].

Genel hatları ile demir elemanların kullanıldığı yerler;

- Strüktür elemanı olarak; giriş, döşeme demiri, kasnak, gergi, kuşaklama, kenet, zıvana, bilezik, simid, çivi, payanda (füruş) vs. şeklinde,
  - Kaplama malzemesi olarak; cephe, kapı, çatı örtüsü vs. şeklinde,
  - Doğrama malzemesi olarak; demir kapılar, şebekeler, parmaklıklar gibi ve
  - Yardımcı ve dekoratif eleman olarak; dolgu, çivi, mandal, kanca, reze, ökçe, kama, vs yanında süsleme demir işleri ve tesisat malzemesi olmak üzere dört grupta toplanabilir. [8]
- Söz konusu strüktürel demir elemanların hem statik hem de sismik yüklere karşı düşey ve yanal yüklere karşı büyük fayda sağladığı belirlenmiştir [9]. Eski zaman metalürji dünyasında yüksek mukavemetli demirlerin üretilmemesinden dolayı tarihi binalarda kullanılan demirlerin mukavemetlerinin düşük olduğu ve çekme yükleri altında deformasyona uğradığı bilinmektedir. Aynı

zamanda korozyondan kaynaklı mukavemet ve hasarlar tespit edilmiştir [10].

Calderini ve ark yaptığı çalışmalarda bu bağlantı demirlerinin tonozlara ve kemerlere etkiyen statik ve sismik gibi yüklerin ürettiği çekme gerilmelerine karşı yapının dayanımında büyük rol oynar.[11]

Tarihi yapılardaki demir elemanların mimari rolü ve gelecek yıllardaki dayanım ve kullanım ömürleri ise restorasyon aşamasında büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla Yapıdaki demir elemanların çekme kuvvetine karşı dayanımlarının belirlenmesi önemlidir. Fakat yıllar içinde meydana gelen korozyon ve bozulan geometrik yapı demir elemanların dayanımlarının sağlıklı şekilde tespit edilmesine engel teşkil etmektedir. Bu nedenle çalışmada alınan sertlik ortalama değerlerinden DIN standardına uygun çevrim yapılarak çekme dayanımına geçiş yapılacak ve mekanik özellikler tespit edilecektir. Yapılan çalışma sonucu belirlenen mekanik ve mikroyapı özellikleri restorasyon sürecinde demir elemanlara yapılacak konservasyon yaklaşımının belirlenmesinde bilimsel bir veri olacaktır. Ayrıca belirlenen çekme dayanımı değeri, yapıda yapılması öngörülen güçlendirme uygulamasına ışık tutarak yapıda yapılabilecek ihtiyaç dışı müdahalelerin önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu sayede yapı gelecek nesillere özgününü koruyarak miras bırakılabilecektir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Tarihi yapılarda kullanılan taşıyıcı demir elemanları metalürjik olarak incelemek için Sultan Ahmet Camii'nde gerçekleştirilen restorasyon uygulaması sırasında değiştirilme kararı alınan Şekil 1'de verilen bağlantı elemanları üzerine analizler gerçekleştirilmiştir.

Sultan Ahmet Caminden alınan Kenet, Kirişleme, Kuşaklama, Zıvana ve çivi numunelerinin zamanla dış ortamdan etkilenmesi sonucunda korozyona uğradığı ve numunelerin dış yüzeylerinde demir oksitlerin yaptığı yoğun oksit tabakası tespit edilmiştir. Numuneler üzerinde demir oksitin oluşturduğu tabaka dövme demirlerin dış yüzeyini kısmi olarak kaplama tabakası görevi yaparak korozyon derinliğinin artmasına engel olduğu düşünülmektedir. Alınan bütün numunelerin dış yüzeyinde meydana gelen korozyona bağlı demir oksit tabakası olduğu ve numune yüzeylerinin malzeme kayıpları olduğu görülmektedir.



Şekil 1: Bağlantı Elemanları

Bu bağlantı elemanları;

- Kenet: Taşları yatayda birbirine bağlayan bağlantı elemanı,
- Zıvana: Taşları dikeyde birbirine bağlayan bağlantı elemanı,
- Kuşaklama: Sütun başlarını saran bağlantı elemanı,
- Kirişleme: Kirişleme: Mermer ve Taş Blokların altında destek amaçlı kullanılan demir bağlantı elemanı
- Çivi: Sıva donatısında, Kurşun Kösteği sabitlenmesinde kullanılan bağlantı elemanıdır.

Bu bağlantı elemanlarının aynı dönemde ve benzer cevherlerden üretilip üretilmediğini belirlemek için ilk olarak kimyasal olarak bir farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Bunun için ilk olarak optik emisyon spektrometresi ile kimyasal bileşimi belirlenmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Kimyasal kompozisyonun yanında döküm ve dövme süreçlerine bağlı olarak farklılıkların tespit edilmesi için mikroyapı analizleri ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Tane boyutu analizleri yapılarak soğumaya bağlı olarak tane boyutu farklılıkları incelenmiştir. Tüm numunelere HV10 sertlik analizleri yapılmış ve mikroyapıda bulunan fazların sertlikleri belirlenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bağlantı elemanlarının aynı dönemden ve benzer cevherlerden üretilip üretilmediğinin belirlemek için kimyasal analizler yapılmıştır. Kimyasal analizlerde ARL-İSPARK 8860 model optik emisyon spektrometresi kullanılmıştır.

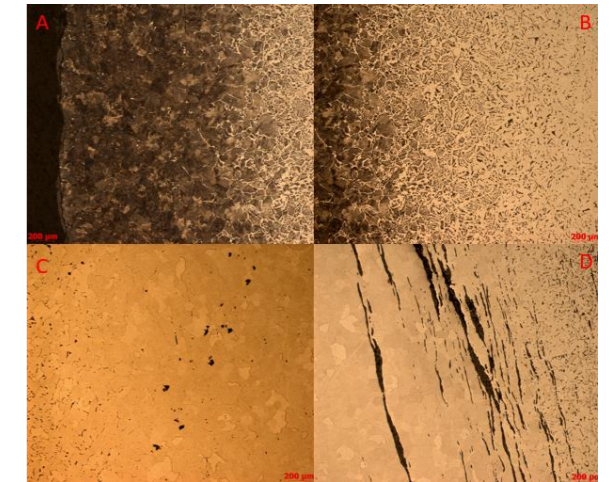
Çizelge 1. Numunenin kimyasal analizi.

Element	Kenet
C	0,56
Mn	0,012
Si	0,24
S	0,0045
P	0,0705
Cu	0,0014
Ni	0,0009
Mo	0,0047
Cr	0,0008
V	0,0098
B	0,00018
Ca	1,8974
Nb	0,0042
N	0,0027
Al	0,0296
Fe	94,5734

C	0,56
Mn	0,012
Si	0,24
S	0,0045
P	0,0705
Cu	0,0014
Ni	0,0009
Mo	0,0047
Cr	0,0008
V	0,0098
B	0,00018
Ca	1,8974
Nb	0,0042
N	0,0027
Al	0,0296
Fe	94,5734

Yapılan çalışmada kenet numunesinden kimyasal analizler alınmış diğer numune yüzeylerinde aşırı boşluklar nedeni ile Kirişleme, kuşaklama, zıvana ve çividen analiz alınamamıştır.

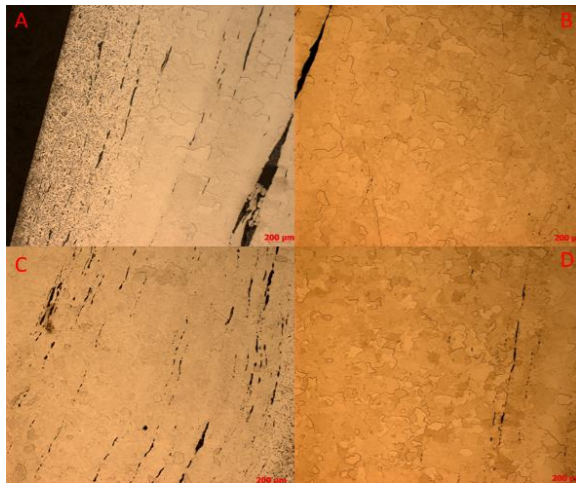
Bağlantı elemanlarının aynı dönem aynı bölge veya aynı kimyasal içeriğe sahip olup olmadığını sadece optik emisyon spektrometresi ile belirlemek yeterli olmayacaktır. Bundan dolayı mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiş ve farklı fazların varlığı analiz edilmiştir. Yapılan mikroyapı analizlerinde incelenen 5 çeşit bağlantı elemanın mikroyapılarının kimyasal analiz ve dövme işlemleri sırasında yapılan ısı işlemlere bağlı olarak farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Tarihi yığma yapılarda demir bağlantı elemanlarının en çok kenet ve zıvana formunda kullanılması nedeniyle mikroyapı görselleri bu iki bağlantı elemanı üzerinden örneklendirilmiştir. Mikroyapı görüntüleri Zeis Axio İmager M2M model cihazda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de kenet numunesine ait bir mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. Kenet Numunesinin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 2' de verilen kenet bağlantı elemanının mikroyapısında A kenar ve D orta nokta olarak kenardan başlayarak orta bölgeye doğru bir mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir.

Mikroyapı görüntüsünden görüleceği gibi en dış kısımda bir sementasyon fazı bulunmaktadır. Bununla beraber şekillendirme sırasında gerçekleştirilen katlama ve dövme işlemi ile inklüzyon ve birleştirme çizgileri görülmektedir. Dövme ve ısıl işlem sırasında kömür ile dolayısı ile karbon muamele yapılan kenet numunesinde yaklaşık 1 mm kalınlığında sementasyon tabakası kalınlığı görülmüştür. Sementasyon tabakası üzerinde yaklaşık 2 mikron kalınlığında ince tufal tabakası olduğu görülmüştür. Sementasyon tabakasının son bulunduğu bölgede perlit fazının başladığı ayrı bir geçiş bölgesi görülmektedir. Yaklaşık 500 mikron perlit tabakasının iç bölgeye doğru devam ettiği sonrasında ferrit fazının yoğun olduğu tabakaya geçiş bulunmaktadır. C tabakasında ferrit fazları ve tane sınırları net olarak görülmektedir. C mikroyapı resminde siyah noktaların demir oksit ve boşluklar olduğu tespit edilmiştir. Kenet numunesinden alınabilen kimyasal analiz dış karbonizasyonu tabakasından alındığı ve karbon oranının yüksek olduğunu kanıtlamaktadır. D mikroyapı resminde ferrit taneleri arasında uzamış inklüzyon ve boşluk oluşumları görülmektedir. Kenet numunesinde kimyasal analizde tespit edilen yüksek Ca içeriğinin D mikroyapısında uzama yapan inklüzyonların çeşitli fazlar halinde bulunduğu tespit edilmiştir. Yüksek oranda Ca inklüzyon içinde  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  ile birlikte anortit oluşumunu sağladığı için yapılan dövme işlemleri sırasında inklüzyonların rahat bir şekilde kenet parçası içinde uzamasını açıklamaktadır. Uzayan inklüzyonların kenet numunesi ferrit taneleri içinden geçtiği görülürken sementasyon tabakası içinden geçen inklüzyon görülmemiştir.



Şekil 3: Zivana Numunesinin Mikroyapı Görüntüsü

Şekil 3'te verilen zivana numunesinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Verilen görüntüler doğrultusunda mikroyapıların farklı olduğu görülmektedir. Dış yüzeyden iç bölgeye yaklaşık 500 mikron kalınlığında perlit tabakası olduğu tespit edilmiştir. Sonrasında iri tane boyutuna sahip ferrit tanelerinin başladığı ve gövde bölgesinde yapının tamamen ferrit olduğu tespit edilmiştir. Zivana numunesinde farklı

olarak inklüzyonların perlitik bölgede meydana geldiği görülmektedir. Ferritik bölgelerde meydana gelen inklüzyonların ferrit tanelerini keserek içinden geçtiği görülmüştür. Mikroyapıda dövme işlemlerinden kaynaklanan uzamış büyük boşlukların olduğu tespit edilmiştir.

Görüntüler karşılaştırıldığında yapılarda bulunan tane boyutları ve karbon miktarına bağlı olarak perlitik yapı oranları değişmektedir. Bu değişimin asıl nedeni dövme ve şekillendirme işlemi için yapılan ısıl işlemlere bağlı olduğu düşünülmektedir. Dövme sırasında bu yapılan ısıtma ve soğutma işlemine bağlı olarak yüzeyde bulunan tanelerin daha ince olması, ısıtma sırasında daha fazla kömüre dolayısı ile karbona maruz kalarak yüzeyde daha küçük taneli ve karbona doymuş yapıların oluşması gözlemlenmiştir.

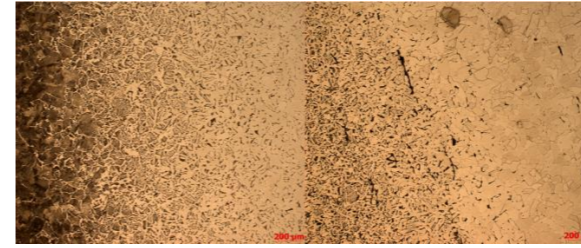
Diğer bağlantı elemanlarında da mikro yapıların benzer olduğu dövme işlemi, ısıtma soğutma süreçlerinin yapıların belirlenmesinde etkin parametreler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Tane Boyutu Ölçümleri

Numune	Tane Boyutları (µm)		Ortalama (µm)
	Kenar Bölge	Orta Bölge	
Kenet	20,80	42,81	31,81
Kirişleme	24,81	26,30	25,56
Kuşaklama	20,38	50,10	35,24
Zivana	16,14	48,77	32,46
Çivi	13,73	41,59	27,66

ISO 643 standardına göre yapılan tane boyutu ölçümleri Çizelge 2'de verilmiştir. Verilen tane boyutları incelendiğinde kenar ve orta bölgeleri arasında ciddi farklar olurken, kırışlemin kenar ve iç bölge arasında ortalama tane boyutunun birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu da kırışleme için daha az dövme işlemi gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Genel olarak bağlantı elemanlarının tane boyutlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bölgesel olarak tane boyutları, aynı yapı içerisinde dahi ciddi farklılıklar ve bu farklılıklar arasında geçiş bölgelerinin varlığı görülmüştür. Şekil 4'te bu geçiş bölgesini için yapılan mikroyapı görseli verilmiştir.



Şekil 4: Geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü.

Kullanılan cevher ve şekil verme süreçlerinden kaynaklı yapı içerisinde boşluklar ile yüksek miktarda inklüzyonlar bulunmaktadır.

Bağlantı elemanları inklüzyon miktarlarının tespiti için DIN 50602 göre K3 çözünürlüğünde kirlilik testi yapılmıştır. Kirlilik testleri daha çok çekme gerilmelerine maruz kalan zivana ve kenet ile çivi numuneleri için test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Inklüzyon sayımı Zeis Axio Imager M2M model cihazda gerçekleştirilmiştir. Her 3 numune de dövme yönünde yaklaşık 13,96, 12,54 ve 13,39 mm<sup>2</sup> alanlar üzerinde inklüzyon taraması yapılmıştır. Alanların küçük tutulmasının nedeni çivi numunesi alanına yakın ve eşit olmaları içindir. Yapılan testler Şekil 5'te verilmiştir. En yüksek inklüzyon oranı çivi numunesinde 19783,88 olarak tespit edilmiştir. Düşey bağlantı elemanı olan zivana da 35,83 yatay bağlantı elemanı olan kenette de 79,73 toplam inklüzyon tespit edilmiştir. Inklüzyon sayımında her 3 numune de sülfür bazlı inklüzyon tespit edilmemiş olup yapının tamamen oksit bazlı inklüzyonların olduğu tespit edilmiştir.

Sample	Measured Area	Type of inclusion	Classes								Multiplication and first subtotal			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	S	C	
			Factors											
1	13.96	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
		CA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
		CS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		CG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S	13.96												0.00	0.50
Second Subtotal											0.00	0.50		
Total Index K 3											0.00	35.83		
Overall total Index K 3												35.83		

Sample	Measured Area	Type of inclusion	Classes								Multiplication and first subtotal			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	S	C	
			Factors											
1	12.54	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
		CA	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0		
		CS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		CG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S	12.54												0.00	1.00
Second Subtotal											0.00	1.00		
Total Index K 3											0.00	79.73		
Overall total Index K 3												79.73		

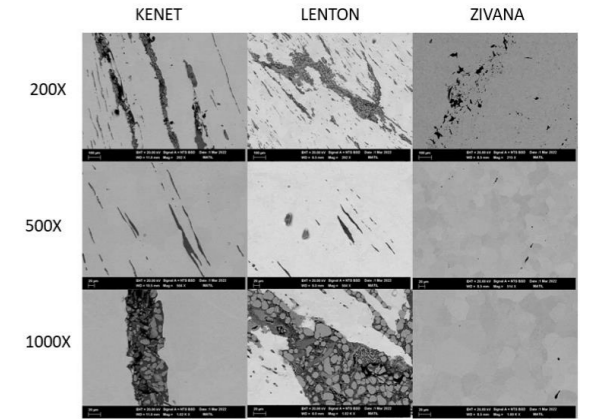
  

Sample	Measured Area	Type of inclusion	Classes								Multiplication and first subtotal			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	S	C	
			Factors											
1	13.39	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
		CA	0	0	0	9	10	8	5	0	0	0		
		CS	0	0	0	1	7	5	12	13	0			265.00
		CG	0	0	0	4	0	0	0	0	0			
S	13.39												0.00	265.00
Second Subtotal											0.00	265.00		
Total Index K 3											0.00	19783.88		
Overall total Index K 3												19783.88		

Şekil 5: A) Zivana B) Kenet C) Çivi DIN50602 K3 Sabitine Göre Inklüzyon Test Sonuçları.

Bu inklüzyonların bileşimlerinin belirlenmesi adına SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri Carl

Zeiss marka EVO MA10 model cihazda yapılmıştır. Kenet, Kirişleme ve Zivana bağlantı elemanları gövde bölgelerinden 200, 500 ve 1000 büyütmede mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Kenet ve Kirişleme numunelerinde dövme yönünde uzama gösteren boşluk ve inklüzyonların daha uzun olduğu görülürken Zivana demirinde bulunan oksitlerin daha yuvarlak tipli birikimler şeklinde inklüzyonların kümeleştiği tespit edilmiştir. Bu inklüzyonların içeriğini belirlemek için bir SEM ve EDS analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. SEM Analiz Görüntüleri

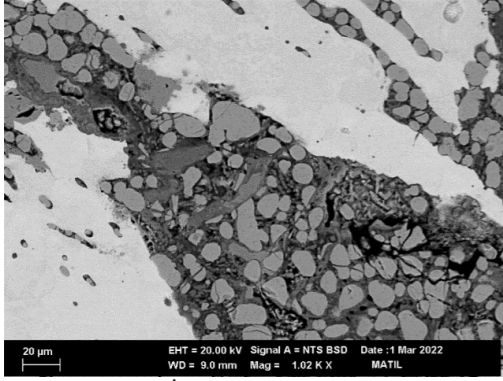
Şekil 6'te verilen SEM görüntülerinde yapı içerisinde farklı inklüzyonlar olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan SEM EDS analizlerinde yüksek şiddete sahip Ca, Si, Fe ve O elementleri görülürken düşük şiddete sahip Mg, Al, P, K ve Ti pikleri tespit edilmiştir. Sıcak dövme esnasında uzama yapan inklüzyonların kalsiyum silikat, kalsiyum alüminyum silikat anortit fazı olduğu düşünülmektedir. Döküm ya da dövme sırasında oluşan boşluklar oksijen konsantrasyonunu demir içinde kalması ve devamında demir oksit inklüzyonlarının meydana gelmesine neden olmuştur. Bütün bağlantı elemanları da benzer inklüzyonlar olduğu görülmüştür.

Bu inklüzyonlar için yapılan EDS analizleri Şekil 6'da verilmiştir.

Element	Weight %	Element	Weight %
CK	5.19	MnL	5.23
OK	31.09	FeK	94.77
MgK	1.19	Element	Weight %
AK	1.97	OK	22.37
SK	6.83	TiK	0.75
PK	0.87	FeK	76.88
KK	0.65	Element	Weight %
CaK	4.10	OK	32.57
TiK	1.15	FeK	67.43
FeK	46.96		

Şekil 7: EDS Analizi

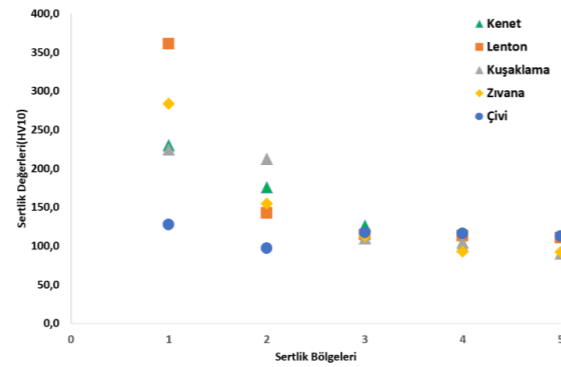
Şekil 7'de verilen EDS Analizinde farklı inklüzyonları bir arada bulunduğu bir SEM görüntüsü üzerinden EDS analizi yapılmıştır. Yapılan 1 numaralı EDS analizinde yapı demir olup içerisinde %5 oranında Mn içerdiği belirlenmiştir. 3 numaralı EDS analizinde incelenen inklüzyonun FeO olduğu görülmektedir. 2 numaralı EDS ve alan taraması analizlerinde birçok elementin oksit şeklindeki bileşiklerinin yapı içerisinde inklüzyon olarak bulunduğu gözlemlenmiştir. 4 numaralı EDS noktası porozite olmasından dolayı sayısal değer alınamamıştır. Burada bazı metaller yapı içinde oksit şeklinde bulunurken bazı metal oksitlerinin yapıda boşluklar içerisinde Şekil 7'de görüleceği üzere birikmiş halde bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8: Boşluk İçerisinde Bulunan Metal Oksitler

Şekil 8'de verilen SEM görüntüsünde yığın şeklinde bulunan oksitlerin demir oksit ve titanyum oksit yapılarının olduğu tespit edilmiştir.

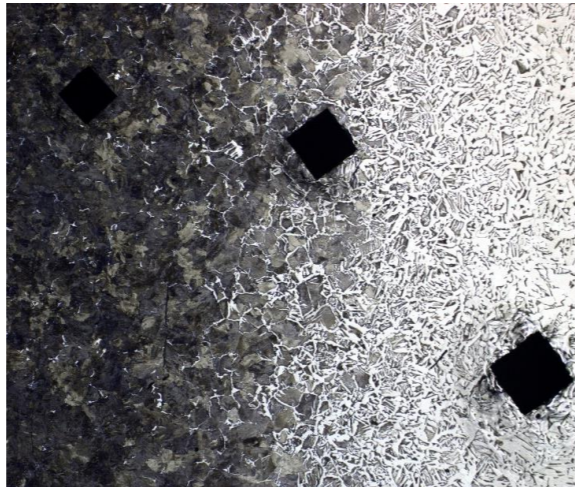
Bağlantı elemanları mikroyapıları kendi içinde çok fazla değişim göstermesi nedeni ile makro sertlik ölçümünün yanı sıra sertlik taraması da yapılmış ve faz geçişlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bağlantı elemanlarına kesit daralmaları ve yüzeyinde oluşan oksidasyon tabakaları oluşması nedeni ile çekme ve darbe testleri yapılamamıştır. Sertlik ölçümlerinde alınan makro ölçüm ve sertlik taraması sonuçları DIN 50150 standardına uygun olarak çekme dayanımına çevrim yapılmıştır. HV10 sertlik ölçümler Bulut marka Unibul model sertlik test cihazında ölçüler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Sertlik Sonuçları

Sertlik bölgeleri 1'den 5'e kadar numaralandırılmıştır. Burada 1 dış yüzey olarak kabul edilmiş ve iç kısma doğru ilerleyerek sertlik analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da verilen sertlik analizleri incelendiğinde en dış yüzeyde karbona doymuş bölgede 200 HV ile 360 HV arasında sertlik değerleri göstermektedir.

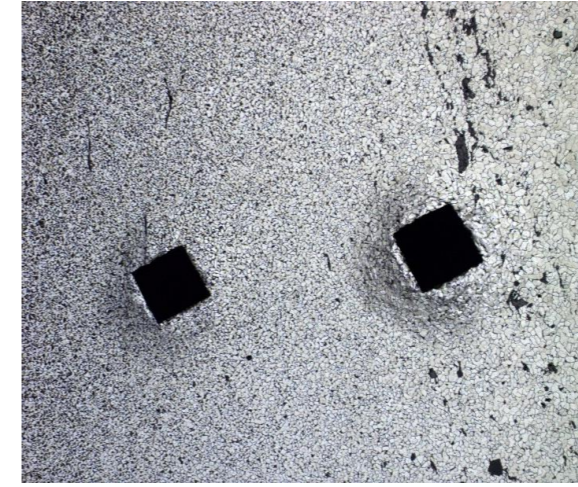
Kenet Numunesi ait sertlik ölçümleri sonrası mikroyapı görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Kenet Numunesi Sertlik Sonrası Mikroyapısı

Şekil 10'da verilen görüntüde sertlik değerleri sırasıyla 230,1-175,4-125,8 olarak ölçülmüştür.

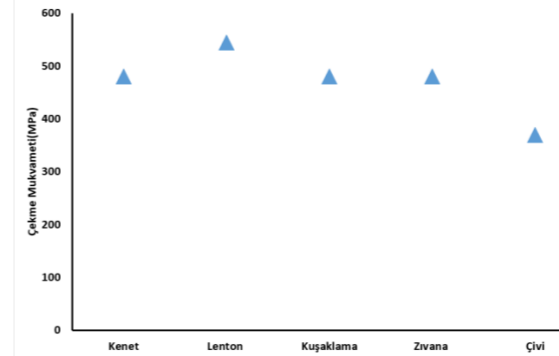
Şekil 9'da verilen grafikte çivi numunesi diğer bağlantı elemanları ile kıyaslandığında ilk iki ölçümde diğer bağlantı elemanlarına göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Bu da çivi numunesinin en dış yüzeyindeki karbon doymuş bölge bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 11'de verilen sertlik sonrası mikroyapı görüntüsünde çivi numunesinin dış yüzeyinde daha ince taneler olduğu ve az miktardaki sertlik farkının bundan kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 11: Çivi Numunesi Sertlik Sonrası Mikroyapısı

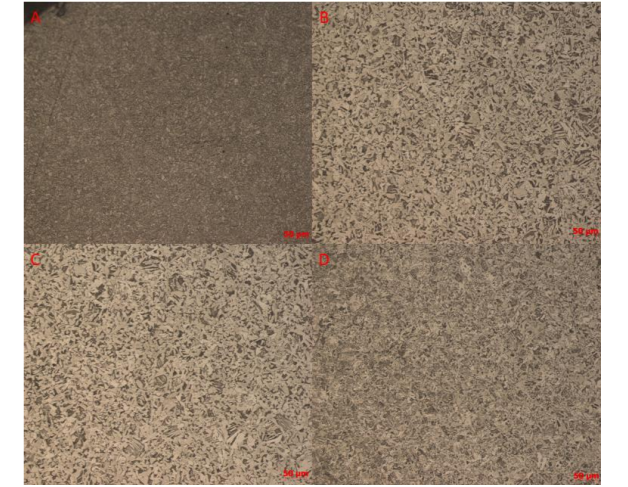
Kenet, Zivana, Kirişleme ve Kuşaklama numuneleri için dış kısımdan içeriye doğru ciddi bir sertlik değişimi olduğu gözlemlenmektedir. Burada sementasyondan kaynaklı bir sertlik farkı oluşmaktadır.

Sertlik değerlerinin DIN 50150 standardına göre çevrilmiş değerleri Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12: Çekme Mukavemeti Değerleri

Şekil 12'de verilen çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde değerlerin ortalama olarak birbirine yakın olduğu ve en düşük değerlerin yine çivi numunesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 13: Günümüz İnşaat Demiri Mikroyapısı

Günümüz inşaat demirleri hurda metalden ve cevherden ergitme ile modern yöntemlerle üretilmekte olup, ısıl işlem, soğutma ve haddeleme işlemleri son halini almaktadır. Ergitme işlemlerinden kimyasal analiz kontrolleri yapılarak homojen mikroyapıya sahip ergimmiş metal kütük olarak döküm işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında tav fırında homojen olarak uygulanan ısıl işlemler ve nervürlü haddeleme sistemlerinden geçen inşaat demirleri kullanıma sunulmaktadır. Eski mimari yapılara göre oksijen giderme yapılabildiği için inklüzyon ve boşluk miktarları düşük, standart ve homojen mikroyapıya sahip inşaat demirleri üretilebilmektedir.

İnşaat demirleri dış tabakasında ısıl işleme bağlı geçmiş dönemdeki demirlerden farklı olarak dekarburizasyon tabakası olması ile farklılık göstermektedir. Dekarburizasyon tabakası homojen olarak yapılan ısıl işlem nedeni ile inşaat demiri etrafını homojen olarak sarmaktadır. Osmanlı mimarisinde kullanılan inşaat demiri günümüzde üretilen inşaat demirlerinin ortak özelliği korozyona karşı hassasiyetlerinin değişmemiş olmasıdır. Korozyon dayanımı için günümüzde paslanmaz demir üretimi ve kaplanmış inşaat demirleri için çalışmalar yapılmış olup yüksek maliyet nedeni ile kullanım görmemektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bağlantı elemanlarının tane yapıları benzerlik göstermekte olup kendi içerisinde yapılan sertleştirme, dövme ve ısıl işlemlere bağlı mikroyapısal değişimi olarak birçok farklılıklar içermektedir.

Bu bağlantı elemanlarının mukavemetini ve iç yapısını belirleyen en önemli parametre dövme işlemi süreci ve buna bağlı olarak ısıtma soğutma profilinden kaynaklanmaktadır.

Döküm ve dövme işlemlerinden kaynaklı olarak iç yapıda oksijen varlığı nedeni ile başta demir oksit olmak üzere inklüzyonların oluştuğu tespit edilmiştir.

Tespit edilen boşluklar ve inklüzyonların yanında en önemli parametrelerden biri korozyondur. Zaman ile artan korozyon sonucunda demir yapı formunu kaybetmekte ve kesitleri incelmektedir. Var olan yükler altında yapı içerisindeki inklüzyonların ve korozyonun da etkisi ile demir elemanlarda kırılmalar meydana gelmekte ve bu da yapıya zarar vermektedir.

Günümüz inşaat demirlerinin mikroyapısında boşluk içermemeleri ve daha düşük inklüzyon miktarına sahip olmaları nedeni ile yüksek kirlilik ve boşluk içeren tarihi dövme demirlere göre daha uzun dayanım performansına sahiptirler.

Günümüz restorasyon çalışmalarında konservasyon yaklaşımının daha sağlıklı olarak yapılması ve yapının güçlendirme çalışmalarının bilimsel veriler ışığında gerçekleştirilebilmesi için restorasyon öncesi bağlantı elemanlarının tahribatlı ve tahribatsız olarak incelenmesi önemli veri olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması için gerekli izinleri, numuneleri sağlayan ve saha çalışmalarımızı destekleyen Vakıflar Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] U. Bellanova, M., Baggioli, A., Rivolta, B., & Felicetti, R. (2019). Metallurgical characterisation of a historical metal tie-rod from Milan Cathedral. *Construction and Building Materials*, 226, 888-898.
- [2] Walker, R. (2002). The production, microstructure, and properties of wrought iron. *Journal of chemical education*, 79(4), 443.
- [3] Dillmann, P., Bernardi, P., & Fluzin, P. (2003). Iron in medieval monuments metallographic analysis of irons coming from the Palais des Papes In Avignon. *ArchéoSciences, revue d'Archéométrie*, 27(1), 183-192.
- [4] Dillmann, P., & L'Héritier, M. (2007). Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal of archaeological science*, 34(11), 1810-1823.
- [5] Leroy, S., l'Héritier, M., Delqué-Kolic, E., Dumoulin, J. P., Moreau, C., & Dillmann, P. (2015). Consolidation or initial design? Radiocarbon dating of ancient iron alloys

- sheds light on the reinforcements of French Gothic Cathedrals. *Journal of Archaeological Science*, 53, 190-201.
- [6] Tanyeli G. (1990) Osmanlı Mimarlığında Demirin Strüktürel Kullanımı (15-18.yy). Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Tanyeli, G. (2017). "Hiçbir Üstad Böyle Kar Etmemiştir" Osmanlı İnşaat Teknolojisi Tarihi. İstanbul: Akın Nalça Kitapları.
- [8] Kurugöl, S., & Küçük, S. G. (2015). Tarihi Eserlerde Demir Malzeme Kullanım ve Uygulama Teknikleri. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum*, 521, 536.
- [9] Calderini, C., & Lagomarsino, S. (2015). Seismic response of masonry arches reinforced by tie-rods: static tests on a scale model. *Journal of structural engineering*, 141(5), 04014137.
- [10] Amabili, M., Carra, S., Collini, L., Garziera, R., & Panno, A. (2010). Estimation of tensile force in tie-rods using a frequency-based identification method. *Journal of Sound and Vibration*, 329(11), 2057-2067.
- [11] Calderini, C., Piccardo, P., & Vecchiattini, R. (2019). Experimental characterization of ancient metal tie-rods in historic masonry buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(3), 425-437.

## Characterization of High Temperature Oxides of AISI 304 and AISI 430 Stainless Steels

AISI 304 Ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Oksitlerinin Karakterizasyonu



**Onur AY<sup>1,2</sup>, Hamdi EKİCİ<sup>1</sup>, Bedirhan GÜRAYDIN<sup>1</sup>, İrfan Can DİNÇER<sup>1</sup>, Beyhan TATAR<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Trinox Metal, <sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, <sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi - Türkiye

#### Abstract

Cold rolling is a plastic forming method applied to reach the desired thickness, especially for flat products. Internal stresses occur with deformation in hot rolled coils, in which rolling process is started with a thickness of 3 – 4 mm. With the internal stresses formed, the grains of the materials are elongated in the rolling direction, and changes occur in the crystal structures and phase structures depending on the alloy. The stresses that occur with the deformation make the material embrittle and the materials lose their ability to be shaped. It is annealed to give the materials the ability to be reshaped, to eliminate the changes that occur in the internal structure with deformation, and to make the grains as coaxial as possible by recovering. Especially if the annealing process is carried out in an open atmosphere furnace, that is, a combustion with rich oxygen causes the formation of high temperature oxides on the surface of the material under the exposed annealing conditions. These high temperature oxides cause decreases in corrosion resistance and adversely affects mechanical properties for materials such as stainless steel, where corrosion resistance is sought. Against the aforementioned negativities, there is a need to re-grow a regular passive oxide layer on the surfaces of stainless steels, especially by dissolving the high temperature oxides on the surfaces in acids[1].

In this study, the structures of high temperature oxides growing on the surfaces of AISI 304 and 430 alloy stainless steels annealed at different temperatures and times were characterized and their surface morphologies and growth patterns along the oxide were investigated. Inferences were obtained on how changes in the structure, composition and morphological structure of oxides will affect their ability to dissolve in acids.

#### Özet

Soğuk haddeleme, özellikle yassı ürünlerin istenen kalınlığa ulaşmak için uygulanan plastik şekil verme yöntemidir. 3 – 4 mm kalınlığında haddeleme işlemine

başlanan sıcak haddelenmiş rulolarda deformasyonla birlikte iç gerilimler oluşmaktadır. Oluşan iç gerilimlerle birlikte malzemelerin taneleri hadde yönünde uzamakta, alaşıma bağlı olarak kristal yapılarında ve faz yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Deformasyonla birlikte oluşan gerilimler malzemeyi gevrekletirmekte ve malzemeler şekillendirilme kabiliyetlerini kaybetmektedir. Malzemelere tekrardan şekillendirilebilirlik kabiliyeti kazandırmak, deformasyonla birlikte iç yapıda meydana gelen değişimleri gidermek ve tanelerin toparlanarak mümkün olduğunca eş aksel olması için tavlanmaktadır. Tavlama işlemi, özellikle açık atmosferli fırında gerçekleştiriliyorsa, yani zengin oksijenli bir yanma olması, maruz kalınan tav şartlarında malzeme yüzeyinde yüksek sıcaklık oksitlerinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu yüksek sıcaklık oksitleri, paslanmaz çelik gibi korozyon dayanımı aranan malzemeler için, korozyon dirençlerinde düşümlere ve mekanik özelliklerin de olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bahsi geçen olumsuzluklara karşı özellikle paslanmaz çeliklerin yüzeylerindeki yüksek sıcaklık oksitlerinin asitlerde çözünerek yüzeylerinde tekrar düzenli bir pasif oksit tabakasının büyüülmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışma kapsamında da farklı sıcaklık ve sürelerde tavlanan AISI 304 ve 430 alaşım paslanmaz çeliklerin yüzeylerinde büyüyen yüksek sıcaklık oksitlerinin yapıları karakterize edilmiş ve yüzey morfolojileri ile oksit boyunca yapıları büyüme yapıları incelenmiştir. Oksitlerin yapı, bileşim ve morfolojik yapılarındaki değişimlerin asitlerde çözünme kabiliyetlerini nasıl etkileyeceği üzerine çıkarımlar elde edilmiştir[1].

#### 1. Giriş

AISI 304 (EN 1.4301) kalite paslanmaz çelik endüstride en fazla kullanılan östenitik paslanmaz çelik olup, AISI 430 (EN 1.4016) serisi paslanmaz da yine endüstride en fazla tercih edilen ferritik paslanmaz çelikler arasında yer almaktadır. AISI 304 serisi paslanmaz, gıda, petrokimya ve basınçlı tank imalatı gibi korozyon dayanımı ve mekanik dayanım aranan yerlerde levha, boru ya da farklı şekillendirme usulleri sonucunda elde edilen nihai ürün

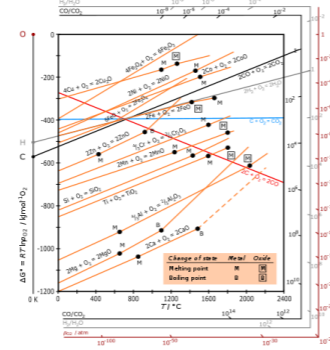


olarak kullanılmaktadır. AISI 430 serisi paslanmaz çelik de özellikle boru, egzoz sistemleri gibi, 304'e göre daha düşük kimyasal dayanım istenen yerler ve yüzeylerinin parlak oluşuyla görsel beklentinin yüksek olduğu, dış cephe kaplaması gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir[1-2].

Nihai kalınlığa inmek için uygulanan haddeleme işlemi sırasında, özellikle 304 gibi östenitik serideki, belli özelliklere sahip paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik yapıdan (YMK) hacim merkezli tetragonal yapıya (HMT) dönüşüm göstererek yapıda  $\alpha'$ - martenzite dönüşüm meydana gelmektedir. Östenitik yapıdaki dönüşümler iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir. İlk aşamada metastabil yapıdaki  $\epsilon$  - martenzite dönüşüm gerçekleşmekte ve devamında da daha kararlı bir faz olan  $\alpha'$  - martenzite dönüşmektedir. Aynı zamanda yapıda yoğun deformasyon ikizlenmeleri oluşmaktadır. Yapıdaki dönüşümler tanelerde belirgin uzamadan ziyade, eş eksenel olarak korunan yapı tanelerinin kırıldığı görülmektedir. Ferritik yapıdaki 430 serisi hacim merkezli kübik (HMK) yapı çelikte böyle bir değişim söz konusu değildir. Ferritik yapıdaki bu çelik gurubunda taneler deformasyon ile birlikte hadde yönünde uzama göstererek ince, fiberimsi tane yapısına bürünmektedir. Uygulanan ısı işlem ile östenitik serideki alaşımların yapısındaki dönüşümler giderilerek tekrar yapının tamamen östenitik bir hal alması istenirken, ferritik yapıda da tanelerin tamamen toplanarak eş eksenel tane yapısına kavuşması sağlanmaktadır[3-4].

Malzemelerin iç yapısında yukarıdaki mekanizmalar meydana gelirken malzeme yüzeylerinde de oksidasyon süreçleri işlemektedir. Paslanmaz çelikler yapılarında barındırdıkları %10,5 ve üzeri krom içerikleri ile yüzeylerinde doğal bir pasif oksit yapısı oluşturmaktadırlar. Bu pasif oksit tabakası yapıyı korozyona karşı mukavim hale getirmektedir. Isıl işlem sırasında alaşıma ve deformasyona orana göre değişkenlik göstermekle birlikte; 1000 – 1100 °C'leri bulan sıcaklıklarda ısıl işleme maruz kalmaktadırlar. Bu yüksek sıcaklıklar ve ortamdaki oksijen varlığı, özellikle krom gibi oksijene karşı afinitesi yüksek olan alaşım elementlerinin hızlıca oksitlenmesini sağlamaktadır. Oksijen varlığında ana matrisi oluşturan demir atomlarının yanında, alaşım elementlerini oluşturan silisyum, mangan ve östenitik alaşımlar için nikel de oksidasyona katılmaktadır. Yüzeyden iç yapıya difüze olan oksijene karşılık, iç yapıyı oluşturan alaşım elementleri de oksit yapısı boyunca yukarıya doğru difüze olarak ortam varlığındaki oksijene bağlanarak yapıda oksit formunu oluşturmaktadır. Aynı zamanda yapıda oksitler  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Cr_2O_3$  gibi tekil formları ile bulunabildikleri gibi birbirleri ile de bileşik oluşturarak kompleks yapı (Fe,Cr) $_x$ O $_y$  formunda spinel oksitleri oluşturabilmektedirler. Spinel oksitler kararlılık olarak çok daha yüksek olmakla birlikte, yapıları da daha düzenlidir. Düzenli ve kararlı yapıları bu kompleks oksitler asitlerde çözünmesi zor yapılar haline getirmektedir[5-6].

Östenitik ve ferritik yapıdaki paslanmaz çeliklerin yüzeylerinde oluşturdıkları oksitlerin yapıları ve oksit morfolojileri de farklılık göstermektedir. Özellikle östenitik yapıdaki yüksek sıcaklık oksitleri poroz bir yapıdadır. Sıcaklık ve süreye bağlı olarak da porozite oranı ile yüzeydeki oksitlerden kaynaklı, pürüzlülük değerlerinde de artışlar görülmektedir. Ferritik yapıdaki AISI 430 paslanmaz çelikte durum biraz daha farklıdır. 430 yapısındaki silisyum oksitlenme ile birlikte ara yüzeyde okside doğru, çıkıntılar şeklinde silisyumlu oksitler oluşturmaktadır. Ana alaşım elementi olan krom oksit yapısında en fazla orana sahip olmakla birlikte ana matrisi oluşturan demir atomları da oksit yapısı içinde hematit, manyetit ve vüstit yapılarını oluşturarak oksit yapısına katılmaktadır. Ellingham Diyagramı (Şekil 1) baz alındığında oksijene karşı afinitesi kromdan daha yüksek olan mangan da hızlı bir şekilde okside kaçarak özellikle silisyum, krom ve demir ile ayrı ayrı ya da birlikte spinel oksitler oluşturarak oksitli yapıda yer almaktadırlar[6-7-8].



Şekil 1: Ellingham Diyagramı[9]

Tav sıcaklığı ve süresindeki artışlara bağlı olarak yarı kararlı durumdaki oksitler kararlı duruma geçerek spinel oksit formuna kavuşmakta, oksit yapısındaki asitlerle çözülmesi zor oksit bileşiklerinin yapıdaki yoğunluğunu arttırmasının yanında oksit yoğunluğunu da arttırarak çözücü kimyasalın yapıya difüzyonunu zorlaştırmakta ve çözünme için ihtiyaç duyulan proses sürelerini ve asit konsantrasyonlarının, çözelti sıcaklıklarının yükselme potansiyeli doğurmaktadır. Alaşımı oluşturan elementlerdeki farklılık yüksek sıcaklık oksitlerini oluşturan oksidin yapısını ve katlardaki dağılımlarını da değiştirmektedir. Örneğin AISI 441 ve AISI 439 kalite alaşımlarla yapılan çalışmalarda, her ne kadar AISI 430 kalite alaşım ile benzer krom, silisyum ve mangan bileşimlerine sahip olsalar da stabilizatör olarak yapıya katılan titanyum ve niyobyum gibi alaşım elementlerinin de etkisiyle bu ferritik alaşımlarda silisyum AISI 430'da olduğu gibi okside doğru çıkıntı oluşturarak, oksidi oluşturmalarının yanında artan tav sıcaklığı ve sürelerinde malzeme ile oksit ara yüzeyinde düzenli bir SiO $_2$  katmanı oluşturarak uzun vadeli tav şartlarında ana yapıdan metal iyonu geçişini zorlaştırmakta ve oksitli yapıdaki metastabil

oksitlerin stabil spinel oksitlere dönüşümünü tetikleyerek oksit yapısının porozitesini düşürmektedir.[8-11].

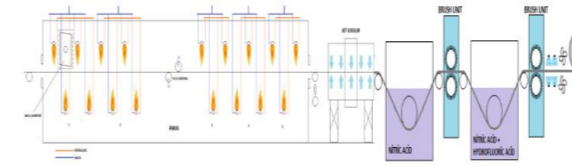
## 2. Deneysel Çalışmalar

Yapılan deneysel çalışmalarda Trinox Metal proses akışı referans alınarak deney tasarımları oluşturulmuştur. Bunun için ilk olarak 20 merdaneli Sendzimir haddede 3 mm'den 0,8 mm'ye %73,33 deformasyon oranında haddelenmiş olan AISI 304 kalite paslanmaz çelik rulo ile AISI 430 kalite paslanmaz çelik rulolardan numuneler alınarak 15x15 cm ölçülerinde numuneler kesilmiştir. Deneylerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Alaşım Elementleri Tablosu

	Kimyasal Bileşim Tablosu									
	Max. % C	Max. % Si	Max. % Mn	Max. % P	Max. % S	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% N
TS EN ISO 10088-2	0,07	1	2	0,045	0,015	17,5 - 19,5	8,0- 10,5	-	-	0,1
AISI 304 (EN 1.4301)	0,057	0,39	1,04	0,032	0,003	18,2	8,05	0,0 6	0,04	0,04 4
TS EN ISO 10088-2	0,08	1	1	0,04	0,015	16- 18	-	-	-	-
AISI 430 (1.4016)	0,045	0,34	0,43	0,012	0,001	16,1 3	0,09 3	0,0 8	0,00 2	-

Ana üretim prosesinde haddeleme sonrasında rulo açılarak tavlama ve asitleme hattında proses edilmektedir. Tav fırını tünel tipi, açık atmosferli doğal gazlı fırın olup, malzemeye istenen mekanik özellikler burada kazandırılmaktadır. Prosesin devamında da tavlama esnasında malzeme yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklık oksitlerini çözmek için çeşitli kombinasyonlardaki asit tanklarından geçirilmektedir. Pickling tankından malzeme üzerinde büyütülen pasif oksit tabakası ile malzemeye istenen korozyon dayanımı kazandırılmış olmaktadır. Prosesle ilgili şematik gösterim Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Trinox Metal Isıl İşlem ve Yüzey İşlem

Proseslerinin Şematik Gösterimi  
15x15 cm ölçülerinde kesilen numuneler ısıl işlem prosesinin alt ve üst sınırlarını oluşturacak şekilde laboratuvar tipi elektrikli kül fırında tavlammıştır. Tav süreleri ve tav sıcaklıkları malzemenin fırında kalma süresi baz alınarak belirlenmiştir. Aynı zamanda süreci tam olarak yansıtmaları için numuneler üzerindeki hadde yağı ile birlikte tavlammıştır. Tablo 2'de alaşımlara ait tav proseslerine ait süre ve sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2: Isıl İşlem Deney Tasarımları

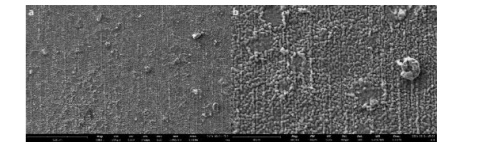
Alaşım	Lab. Fırın Sic. (°C)	Süre (s)	Alaşım	Lab. Fırın Sic. (°C)	Süre (s)
304	1100	160 60	304	950	160 80
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		
430	850	110 65	430	750	120 80
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
8			8		

Tavlama işlemleri sonrasında Bruker D8 Marka XRD cihazında oksitli yüzeylerin XRD sonuçları elde edilmiş olup, Phenom XL marka taramalı elektron mikroskopunda (SEM) AISI 304 alaşımın yüzey görüntüleri çekilmiş ve EDS sonuçları alınmıştır. AISI 430 alaşım için de Jeol 600 marka taramalı elektron cihazında yüzeyden ve kesitten aynı şekilde yüzey ve kesitten görüntüler elde edilip EDS sonuçları alınmıştır.

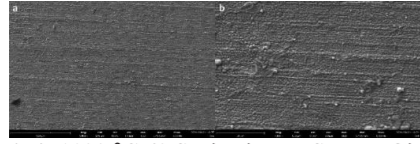
## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. AISI 304 Alaşımın SEM, EDS ve XRD Sonuçları

Özellikle asitleme prosesinde reaksiyon kinetiği difüzyon kontrollü olarak ilerlemektedir. Asit çözeltisi oksitli yapıya ne kadar kısa sürede difüze olursa proses hızları da o denli yükselmektedir. Bu sebepten ötürü ısıl işlem sırasında malzeme yüzeyinde büyüyen oksidin yapısı ve oksitli yüzeyin morfolojisi oldukça önem kazanmaktadır. Oksidasyon ile pürüzlü bir yüzey elde edilmesi yüzey alanını genişlettiğinden ve aynı zamanda katmanlar arası oksit porozitesinin artması yine yüzey alanını genişletmesi ve meydana gelen boşluklarda çözeltinin daha rahat yanının sağlanması reaksiyon kinetiğini arttıran faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır[7-12].



Şekil 3: 1100 °C 160 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin SEM Görüntüleri a) 1000X ve b) 4000X



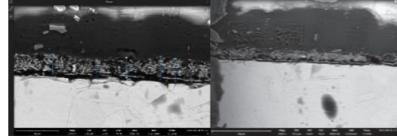
**Şekil 4:** 1100 °C 60 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin SEM Görüntüleri a) 1000X ve b) 4000X

1100 °C 160 saniye ve 60 saniyede yapılan tavlama işlemlerine ait görseller Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir. 60 saniye tavlama numunelerinin (Şekil 4) görüntülerine bakıldığında haddeleme ile birlikte yüzeyde oluşan hadde merdane izleri üzerinde oksitlerin, hadde yönünde hat oluşturacak şekilde katmanlı büyüdüğü görülmektedir. Büyüme yüzeyde düzenli bir katman olarak başlayıp sıcaklık ve süre uzadıkça daha da katmanlı bir hal alıp, metal yüzeyinde ağsı bir yapı oluşturmuştur. Ağsı yapının birbiri üzerinde büyüyen oksitler boyunca poroz bir yapı oluşturduğu bu poroz yapının da oksit yüzeyi boyunca yüzey alanını genişleterek, asitle reaksiyon için elverişli ortam oluşturmaktadır. Yapının bölgesel kısımlarında bu katmanlı yapının farklı oksitlenme kinetikleri göstererek eş aksenel, adacık şeklinde ve yine poroz yapıda oksit yapıları oluşturduğu görülmektedir. Adacık şekilli bu oksit formları asit çözeltisi içinde farklı çözünme kinetikleri de göstererek yüzey boyunca daha fazla aside maruz kalarak metalde dağlama efekti oluşturup yüzeyde renk farklılıklarına sebep olabilmektedir[5-6].

Aynı zamanda yüzeyde parlak şekilde, kompakt, spinel oksitlerin de oluştuğu görülmektedir. Bu kararlı oksitlerin oluşmasında; proses şartlarını temsil etmesi sebebiyle hadde yağıyla birlikte tavlama sonrasında yağ içindeki elementler de bu spinel oksitlerin yapısına katılabilmektedir. Spinel oksitlerin oluşmasına etkileyen bir diğer faktör AISI 304 paslanmaz çelik içindeki alaşım elementlerinden Cr, Si ve Mn da bir araya gelerek spinel oksitlerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu tip spinel oksitler kararlı yapıda olduklarından dolayı asitle çözümleri zordur. Bu sebepten oksit içinde spinel oksitlerin yüzeyden uzaklaştırılması zorken yüzeyde oluşan spinel oksitler alt katmanda meydana gelen çözünme ile birlikte yüzeyden uzaklaştırılabilmektedir[5-6-7].

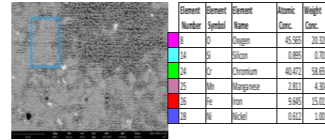
60 saniyedeki tav süresine göre 1100 °C 160 saniyede tavlama oksidasyonu devam ettirdiği için yüzeyde daha kalın, katmanlı bir oksit tabakası oluşturmuş ve kesit görüntülerinde de bu durum gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 160 saniyelik tav sonrasında yüzeye bakıldığında yüzeydeki katmanlı yapıların daha kabalaştığı, oksit adacıklarının çaplarını arttırarak yüzeyde daha geniş bir alan kapladığı görülmektedir. Aynı zamanda oksit büyürken poroz olarak büyümeye devam ettiği ve 1100 °C 60 saniyeye göre oksidin porozite oranını arttırdığı arttırdığı görülebilmektedir. 160 saniye tav sonrasında 60 saniye sonrasında olduğu gibi yüzeyde spinal oksitlerin oluştuğu görülmektedir[5-6-7].

Şekil 5'te 1100 °C'de 160 saniye tavlama numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır Kesit görüntüde yer alan oksit ile metal yüzeyi nasıl bir bağ kurulduğu ve yüzey incelemelerinde gözlenen poroz oksit yapısı kesitten de rahatlıkla görülebilmektedir. Oksit kalınlığı ölçümleri de göstermektedir ki 1100 °C 160 saniyede yüzeyde ortalama 15 – 20 µ kalınlığında oksit tabakası oluştuğu görülmektedir. Tav yüksek sıcaklık oksidasyonu teorisinde de anlatıldığı gibi sıcaklık ve süre ile doğru orantılı olan oksitlenme, bu şartlarda yüzeyde oluşan oksit kalınlığının diğer tav şartlarındaki numunelerden daha kalın bir oksit yapısı oluşturduğunu göstermektedir.

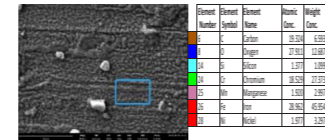


**Şekil 5:** 1100 °C 160 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin 3700X'deki (Solda) ve 2000X'deki (Sağda) Kesitten SEM Görüntüleri

Şekil 6 ve 7'de 1100 °C'de yapılan tavlama sonrasında yüzeye uygulanan EDS sonuçlarını gösterilmiştir.



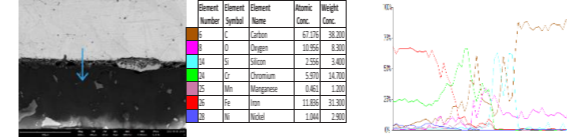
**Şekil 6:** 1100 °C 160 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin EDS Sonuçları



**Şekil 7:** 1100 °C 60 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin EDS Sonuçları

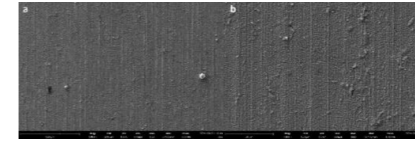
EDS sonuçları yüzeydeki oluşumun oksitlenmiş bir form olduğunu açıkça göstermektedir. Oksit yapının çoğunluğunun krom ve demir oksitlerden oluşmaktadır. Krom, oksit yapısında oksidasyon derecesi arttıkça yüzeye daha çok hareket eder ve dış tabakada daha fazla yer kaplar. Nikel, mangan ve silisyum gibi alaşım elementlerinin de oksit yapısına katıldığı gözlemlenmiştir. 1100 derece 160 saniyedeki EDS sonuçlarına baktığımızda 60 saniyedeki tava göre krom içeriğinin arttığı, aynı zamanda nikel içeriğinde ise azalma olduğu görülmektedir. Bu indirgeme, nikel oksitler üst katmanlara yayılmadan önce alt katmanlarda kalır. Mangan içeriğinin tekrar arttığı ancak silisyumun nikel gibi davrandığı görülmektedir.

1100 °C'de 160 saniye tavlama numunenin kesit görüntüsü üzerinde yapılan çizgi EDS sonuçları (Şekil 8) göstermektedir ki; baz metalden okside geçişle birlikte krom içeriğinde hızlı bir artış olduğu ve krom pikleri ile oksijen piklerinin de uyumlu olduğu görülmektedir. Daha sonra görülen karbon tepelerindeki artış, bakalitten kaynaklanmaktadır.



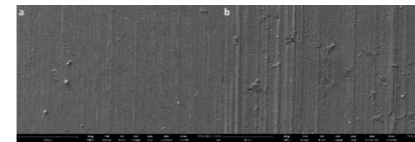
**Şekil 8:** 1100 °C 160 Saniyede Tav Sonrası Kesitten Çizgi EDS Sonuçları

Şekil 9 ve 10'da 950 °C'de yapılan tavlama sonucunda yüzeylerde oluşan oksit yapıları gösterilmiştir. Sıcaklık düşük olmasına rağmen 160 saniye tavlama sonucunda yüzeyde oluşan oksit yapısı ve oksit morfolojisi 1100 °C 60 saniyede yüzeyde oluşan oksit yapısına benzerlik göstermektedir. Buradan da proseste farklı tav sıcaklıklarında olsa dahi çözülebilir yapılarda oksitler üretmek proses optimizasyonu için girdiler oluşturulabilmektedir[6-7].



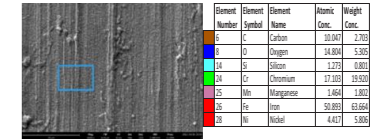
**Şekil 9:** 950 °C 160 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin SEM Görüntüleri a) 1000X ve b) 4000X

950 °C 160 saniye sonundaki yüzeyde oluşan oksit yapısının 1100 °C 60 saniye sonunda yüzeyde oluşan oksit yapısına benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yüzeydeki oksitler sıcaklık ve sürenin etkisiyle katmanlı olarak büyüme göstermeye başladığı, oksit adacıklarının da aynı şekilde oluşumları açıkça görülmektedir. Şekil 10'da yüzeyde düzenli, homojen yapıda oksit tabakasının oluştuğu ancak, yüzeyde oluşan oksidin yeterince büyüme imkanı bulamadığından diğer tav şartları kadar poroz bir yapı oluşmadığı, katmanlaşma için de ancak zemin oluştuğu görülmüştür.



**Şekil 10:** 950 °C 80 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin SEM Görüntüleri a) 1000X ve b) 4000X

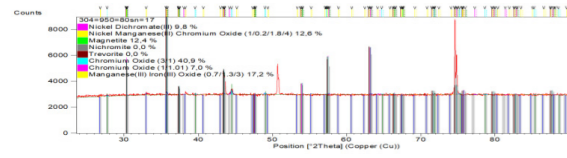
Şekil 11'de incelenen 950 °C'de 80 saniye tavlama numune yüzeyindeki EDS sonucuna göre; en yüksek nikel içeriğine sahip olan tavlama koşulludur. Yine yüzeyde demir oksitli yapılar hakimdir. Bu da bizlere göstermektedir ki 1100 °C 160 saniye haricindeki diğer üç tav şartlarında yüzeydeki hakim oksidin demir oksitli bileşiklerin olduğu ve 1100 °C'de 60. saniyeden sonraki sürelerde kromun oksidasyon kinetiğinde artış meydana geldiği ve Şekil 1'de Ellingham Diyagramı'ndan da görüleceği gibi özellikle krom, silisyum ve manganın 1100 derecedeki Gibbs serbest enerjisinin demir ve nikelten daha düşük olması oksijene karşı afinitesinin daha yüksek olmasına, yüzeyde hakim oksit yapısının krom oksitler olmasını açıklamaktadır.



**Şekil 11.** 950 °C 80 Saniyede Tav Sonrası Oksitli Yüzeylerin EDS Sonuçları

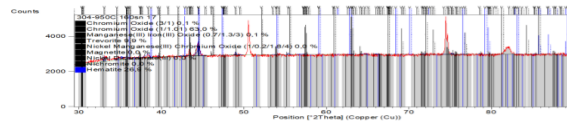
XRD analizleri karakterize edilmek istenen malzeme üzerine gönderilen x – ışınları ve bu ışınların karakteristik özellik taşıyan kafes yapıları içinde kırılması esasına dayanan bir analiz yöntemidir. XRD analizi ile oksitli yüzeyler üzerinde büyümüş olan oksit yapılarının neler olduğu, hangi tiplerde spinel oksitlerin oluştuğu ve oluşan oksit yapılarının kristal yapıları hakkında fikir vermektedir. Aynı zamanda yüzeydeki oksitlerin kendi içlerinde ne kadarlık bir oranda yüzeyde buldukları da tespit edilmiştir.

Artan sıcaklık ve süre ile yüzeydeki oksit yapılarının değişimini inceleyebilmek için AISI 304 (EN 1.4301) 950 °C'den 1100 °C'ye doğru, artan sıcaklık ve sürelerde XRD sonuçları incelenmiştir. Şekil 12'de 950 °C 80 saniye tav sonrasındaki XRD sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yüzeyde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO<sub>1,01</sub> gibi farklı bileşiklerde krom oksit yapılarının yüzeydeki hakim oksit yapısı olduğu görülmektedir ve bu oksitler yapının %47,9'unu kaplamaktadırlar. Direk olarak krom oksidin oluşmadığı yerlerde de hakim olarak yine kromla bileşik oluşturmuş nikel dikromat (Cr<sub>2</sub>NiO<sub>4</sub>), nikel mangan(III) krom oksit (Cr<sub>1,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>NiO<sub>4</sub>) bileşiklerinin oluştuğu ve bu krom oksitli spinel oksitler %22,4 oranında oluşmuşlardır. Ana alaşım elementi olan kromun katıldığı oksitlerin yanında ana matrisi oluşturan demir elementinin de yüzeyde tek başına ve diğer alaşım elementleri ile birlikte spinel oksit oluşumu göstermektedir. Yapıda %12,4 oranında magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) oluştuğu, %17,3 oranında da demir mangan oksit (Fe<sub>1,26</sub>Mn<sub>0,74</sub>O<sub>3</sub>) yapısının meydana geldiği görülmüştür. Yukarıda bahsedilen oksitlerin her biri kübik yapıli oksitlerdir [5-6-12].



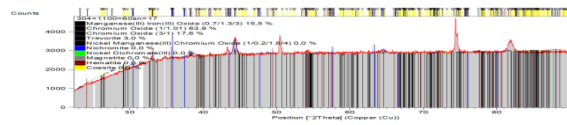
Şekil 12. 950 °C 80 Saniye XRD Sonuçları

950 °C'de 80 saniyeden 160 saniyeye artan sürelerde, magnetitin ( $Fe_3O_4$ ) yerini %26,9 ile hematitin ( $Fe_2O_3$ ) aldığı, yine hakim oksit yapısının krom oksidin olduğu ve 80 saniyede görülmeyen spinel oksit yapısı olan demir nikel oksidin ( $Fe_2NiO_4$ ) yaklaşık %10 oranında yapıya katıldığı görülmektedir (Şekil 13) [6-7].



Şekil 13. 950 °C 160 Saniye XRD Sonuçları

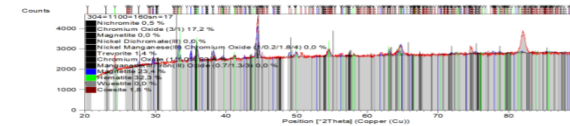
950 °C'deki tav sıcaklığından 1100 °C'ye çıkıldığında tekrardan krom oksitli yapıların yüzeyde hakim oksit yapısını oluşturduğunu ve kromlu yapılar demir ile spinel oksit oluşturan mangan ve nikel oksitler yer almaktadır. Benzer yüzey morfolojileri gösteren 950 °C 160 saniyede görülen demir nikel oksitli yapının %10'dan %3'e düştüğü görülmektedir. Yine mukayese edilen iki tav şartında kromun oksijene karşı afinitesinin yüksek olmasından kaynaklı, diğer alaşım elementlerinin oksitlenmesini baskılayarak üst katmanlara difüze olarak, oksit yapısı içinde hakim oksit bileşiklerini oluşturmuştur. EDS sonuçlarını da destekleyici şekilde, nikelin üst katmana difüze olamadan ara katmanlarda oksit olduğu bilinmektedir[6-7]. 950 °C 160 saniye ve 1100 °C 60 saniye ara katmanlı yüzey oksitlerinin görüldüğü tav şartlarını oluşturmaktadır. Şekil 14'te 1100 °C 60 saniye tavlama numuneye ait XRD sonuçları görülmektedir.



Şekil 14. 1100 °C 60 Saniye XRD Sonuçları

1100 °C 160 saniye tav sonucunda yüzeydeki oksitlerin çeşitlendiği, hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve manyetitlerin ( $Fe_3O_4$ ) bir arada bulunduğu, her ne kadar %0 oranında görülse de eser miktarda da wüstit ( $FeO$ ) meydana geldiği görülmektedir. Değerler birbirine yakın olmakla birlikte en yüksek sıcaklık ve süre tavlama numuneler üzerinde demir oksitli yapıların hakim olduğu, az miktarda kromun ve demirin nikel ile spinel oksit oluşturduğu görülmektedir. Diğer oksit

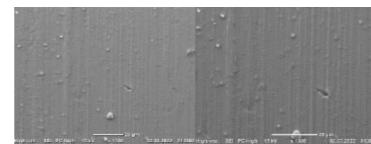
yapılarında farklı olarak %1,8 oranında  $SiO_2$  'in oluştuğu görülmektedir. AISI 304 alaşımı için dört farklı tav şartı sonuçları derlendiğinde ana yapıda genel olarak krom oksitli bileşiklerin hakim olduğu ve yanında demir oksitli bileşikler yer almaktadır. Sadece 1100 derece 160 saniyede demir oksitli yapıların daha baskın olsa da kromlu bileşiklere oranı yakındır. Şekil 15'te 1100 °C 160 saniye tav sonucundaki yüzey XRD sonuçlarını göstermektedir.



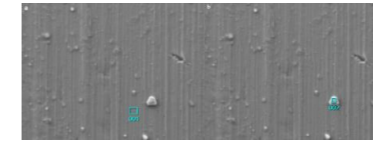
Şekil 15. 1100 °C 160 Saniye XRD Sonuçları

### 3.2. AISI 430 Alaşımın SEM, EDS ve XRD Sonuçları

AISI 430 kalite paslanmaz çeliğin oksitli yüzeyleri incelendiğinde AISI 304 kalite malzemeye göre yüzeyde daha düzenli bir oksit yapısı oluşturduğu görülmektedir. Bu yapıları AISI 304 kalite 950 °C 80 saniyedeki oksit morfolojisine benzetilebilir. Bu morfolojiler poroz yapılardan uzak, yüzeyi düzenli olarak kaplayan bir oksit formu olduğu için asitle yüzey işlem proseslerinde reaksiyon kinetiğini azaltıcı yönde etki göstermektedir. Yine yapıya bakıldığında yüzeyde spinel olarak büyüyen oksit adacıklarının oluştuğunu ve bu kararlı yapıların artan tav sıcaklığı ve sürelerinde çözülmesi zor oksitlerin oksit yapısı içindeki oranlarındaki artışı, yapının reaksiyon kinetiğini olumsuz yönde etkileyecek yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 16'da 850 °C 65 saniye tavlama numune üzerindeki oksit yapısını göstermektedir. Şekil 17'de 850 °C 65 saniyede tavlama numunelerin EDS sonuçlarını göstermektedir. AISI 430 kalite paslanmaz çelikte ana alaşım elementini krom metali oluşturmaktadır. Buna bağlı olarak da yüzeydeki oksit yapısında da ağırlıklı olarak ana matrisi oluşturan demir atomunun ve yanında da krom oksitli yapıların (%20,67 Cr, %76,92 Fe ve %1,79 Mn) düzenli oksit yapısına katıldığı görülmektedir. Şekil 17 b'de görülen spinel yapı üzerinde yapılan EDS analizinde krom ve manganın atomik olarak artış gösterdiği (%24,88 Cr, %3,66 Mn ve %70,8 Fe) ve buradan da yapının krom ve manganca zengin,  $(Fe,Cr,Mn)_xO_y$  tipinde spinel bir yapı olabileceğini göstermektedir [8-10-11].

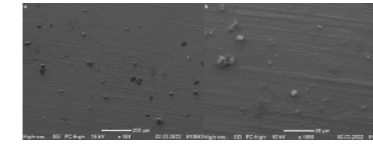


Şekil 16. 850 °C 65 Saniye Tavlama 430 Numune Yüzeyi a) 1000X ve b) 1500X Büyütme



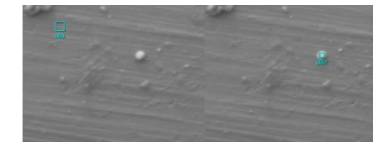
Şekil 17. 850 °C 65 Saniye Tavlama 430 Numune Yüzeyi EDS Sonuçları a) Oksit Yüzeyi ve b) Spinel Oksit

850 °C'de süre artışıyla birlikte 65 saniyeden 110 saniyeye çıkıldığında yüzeydeki oksit yapısının yine düzenli olarak malzeme üzerini kapladığı ve yüzey üzerindeki oksit adacıklarında da artış olduğu görülmektedir (Şekil 18).



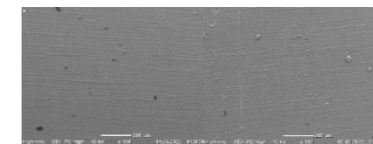
Şekil 18. 850 °C 110 Saniye Tavlama 430 Numune Yüzeyi a) 100X ve b) 1000X Büyütme

Yüzey bölgesine EDS analizi yapıldığında beklendiği gibi, kromun daha fazla oksitlenerek oksit yapısına katıldığı, krom oranında atomik olarak artış olduğu (%22,78 Cr, %2,71 Mn ve %73,63 Fe) görülmektedir. Aynı zamanda yüzeydeki mangan değerindeki artış da yüzeyde oluşan potansiyel krom – mangan spinel yapı oksitlerin de artışının göstergesidir (Şekil 19). Aynı zamanda küresel yapı oksit adacığına ya da spinel yapıya yapılan EDS analizinde yüzeye göre silisyum değerindeki artış silisyum içerikli bir spinel yapı olduğunu göstermektedir[8-10-11].



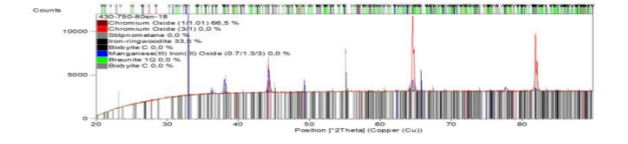
Şekil 19. 850 °C 110 Saniye Tavlama 430 Numune Yüzeyi EDS Sonuçları a) Oksit Yüzeyi ve b) Spinel Oksit

750 °C 80 saniye tavlama numuneler üzerinde büyümüş olan oksitli yapının 850 °C'deki yüzeyler gibi düzenli olduğu ancak onlar kadar yeterince kabalaşma göstermediği görülmektedir. 750 °C'de de yüzeyde oksit adacıkları görülmektedir (Şekil 20).



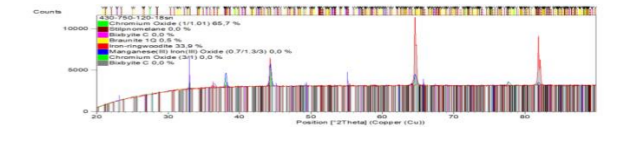
Şekil 20. 750 °C 80 ve 120 Saniyelerde Tavlama 430 Numune Yüzeyi a) 80 saniye 100X ve b) 120 saniye 100X

AISI 430 kalite alaşım için 750 °C 80 saniyedeki tavlama sonrasında yüzeyde elde edilen oksidin karakterine bakıldığında %66,5 oranında krom oksit bulunduğu, geri kalan %33,5'lük oranını da demir silisit ( $Fe_2SiO_4$ ) bulunduğu görülmüştür (Şekil 21).



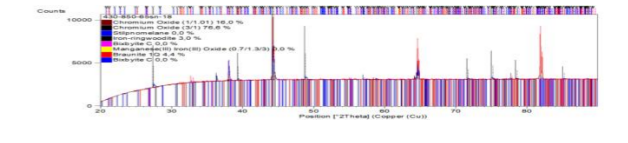
Şekil 21. 430 750 °C 80 Saniye XRD Sonuçları

750 °C'de süreyi 120 saniyeye çıkıldığında hakim yapıdaki krom oksit ve demir silisit yanında tetragonal yapıda mangan silisit yapısının oluşmaya başladığı görülmektedir. Özellikle üst katmanlarda oluşan bu manganlı spinel oksitler yine asitlerde çözünmeyi olumsuz etkilemektedir (Şekil 22).



Şekil 22. 430 750 °C 120 Saniye XRD Sonuçları

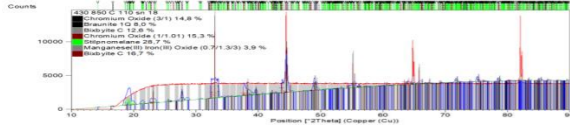
850 °C'ye çıkıldığında oksit yapısının biraz daha zenginleştiği ve birden fazla tipte krom oksit yapısının yüzeyde meydana geldiği, demir silisit üst yüzeye yeterince taşınmadığı ve %3 oranında görülmesinin yanında mangan silisit 750 °C 120 saniyeye göre az da olsa oranını arttırdığı görülmektedir. Bu şekildeki bir değişim, özellikle 430 alaşım için, 850 °C'de oksit yapısının form değiştirmeye başladığını ve oksit büyüme kinetiği açısından da asitlerle çözünme kinetiği açısından da farklı değerlendirilmesinde fayda olacağı habercisidir (Şekil 23).



Şekil 23. 430 850 °C 65 Saniye XRD Sonuçları

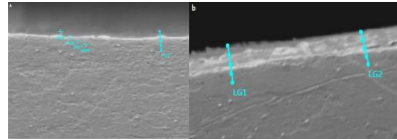
Şekil 24 850 °C 110 saniyedeki tav sonrasında yüzeyde oluşan oksitlerin XRD sonuçlarını göstermektedir. Numune yüzeyinin %70 oranında kararlı spinel oksitlerle kaplandığı ve krom oksitlerin %30 oranında yapıda bulunduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça özellikle mangan, yapıda demir ve silisyum ile spinel oksitler oluşturma eğilimindedir. Bunlar da  $FeMnO_3$ ,  $Fe_{1,26}Mn_{0,74}O_3$ 'tür. Diğer yapılardan farklı olarak bu sıcaklık ve süre sonunda  $FeSi_4O_{9,5}$  gibi farklı bir demir – silisyum spinel oksidin

de oluştuğu görülmektedir. Sıcaklık ve süredeki artışın yapıdaki spinel oksit yoğunluğunu ve çeşitliliğini arttırdığı açıkça görülmektedir[10-11].



Şekil 24. 430 850 °C 110 Saniye XRD Sonuçları

Aynı zamanda AISI 430'a ait kesit görüntüleri incelendiğinde metal ile oksit arasında belirgin bir geçiş bölgesinin oluştuğu ve katmanlarda da özellikle spinel yapıya katılan, oksit yoğunluğu üzerinde etkili olan silisyum ve mangan oranlarında değişiklikler meydana gelmektedir. %Si değeri oksit yapısı içinde yukarıdan aşağıya doğru azalış gösterirken mangan da tam tersi yönde bir değişim görülmektedir. AISI 430 mekanizması için, silisyumun ara katmana difüze olarak SiO<sub>2</sub> çıkıntıları oluşturup, devam eden oksitlenme ile bu yapıların koparak üst oksit yapısına taşındığı ve maruz kalınan ortam şartları ile kararlı yapılara dönüştüğü söylenebilir. Manganın da yine oksit yapısında ara yüzeyde düzenli oksit yapısının oluşumuna katıldığı görülmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. 430 850 °C a) 65 Saniye ve b) 110 Saniye Kesit EDS Sonuçları

110 saniye için silisyum değeri %4,31 değerinde %0,37 değerine kadar düşerken mangan değeri de yüzeyden ara kesite doğru %1,96'dan %2,92'ye çıkmaktadır. 65 saniye için de %0,94 değerinde %0,77'ye düşüş gösterirken mangan da %2,05'ten %2,31 değerine çıkmaktadır. 65 saniye için değişim çok belirgin olmamakla birlikte 110 saniyede bariz bir değişim görülmektedir.

#### 4. Sonuç

AISI 304 alaşımında sıcaklık ve süre ile oksit yapısının poroz ve katmanlı olarak büyüme eğilimi göstermektedir. AISI 304 alaşımında artan sıcaklık ve süreler yapıdaki spinel oksit yoğunluğunu arttırmakla birlikte nikel gibi üst katmanlara difüze olmakta zorlanan alaşım elementleri ara katmanlarda da daha kararlı spinel yapılara bürünebilmektedirler. Oksidasyon arttıkça spinel yapıya katılan krom içeriği artmaktadır.

AISI 430 alaşım için AISI 304 alaşım gibi poroz bir yapı görülmemektedir. Sıcaklık ve süreye bağlı olarak spinel oksit yapılarında çeşitlenme ve yapı içinde yoğunlukları

artmaktadır. Aynı zamanda oksidasyon arttıkça spinel yapıya katılan silisyum ve mangan oranlarında artış görülmektedir.

#### Teşekkür

İlknur KUYU ve Ahmet DÖNMEZ'e çalışmadaki değerli yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

#### Referanslar

- [1] European Steel Technology Platform (ESTEP). Strategic Research Agenda. A Vision for the Future of the Steel Sector; European Commission: Brussels, Belgium, 2005.
- [2] Andersson, R.; Schedin, E.; Magnusson, C.; Ocklund, J.; Persson, A. Stainless steel components in automotive Vehicles. In Proceedings of the 4th European Stainless Steel Science and Market Congress, Paris, France, 10–13 June 2002; p. 57.
- [3] A.F. Pahilda, R. L. Plaut, P. R. Rios, Annealing of Cold-worked Austenitic Stainless Steels, ISIJ International, Vol. 43 (2003) No. 2, pp. 135–143.
- [4] X. Zhang, Z. Wen, R. Dou, G. Zhou, Z. Li, Evolution Of Microstructure And Mechanical Properties of Cold-Rolled SUS430 Stainless Steel During a Continuous Annealing Process, Materials Science & Engineering A 598 (2014) 22–27.
- [5] I.G. Wright, R.B. Dooley, A Review of the Oxidation Behavior of Structural Alloys in Steam. Int. Mater. Rev., 2010, 55(3), 129 – 167.
- [6] I.G. Wright, P.F. Tortorelli, M. Schütze, Oxide Growth and Exfoliation on Alloys Exposed to Steam. EPRI Rep. No. 1013666, 2010.
- [7] C. E. R. Carvalho, G. M. Costa, A. B. Cota, E. H. Rossi, High Temperature Oxidation Behavior of AISI 304 and AISI 430 Stainless Steels, Materials Research, Vol. 9, No. 4, 393–397, 2006.
- [8] J. Issartel, S. Martoia, F. Charlot, V. Parry, G. Parry, High Temperature Behavior of the Metal/Oxide Interface of Ferritic Stainless Steels, Corrosion Science 59 (2012) 148–156.
- [9] [https://www.researchgate.net/figure/Ellingham-diagram-showing-the-standard-Gibbs-energies-of-formation-of-selected-oxides-as-fig1\\_286545911](https://www.researchgate.net/figure/Ellingham-diagram-showing-the-standard-Gibbs-energies-of-formation-of-selected-oxides-as-fig1_286545911) Tarih: 13.03.2022.
- [10] A.C.S. Sabioni, A.M. Huntz, M.F.Salgado, A. Pardini, E.H. Rossi, R.M. Paniago, V. Ji, Atmosphere Dependence of Oxidation Kinetics of Unstabilized and Nb-Stabilized AISI 430 Ferritic Stainless Steels in the Temperature Range 850 – 950 °C, Materials at High Temperatures 27(2) 89 –96, 2010.
- [11] M. F. Salgado, J. M. S. Santos, G. E. D. Viana, J. A. S. Porto, G. S. V. Fontilenea, E. Hamzah, F. N. Ani, High Temperature Oxidation of AISI 439 Ferritic Stainless Steel in Synthetic Air Atmosphere, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 80:5 (2018) 103–111.
- [12] J.C. Colson and J.P. Larpin, High-Temperature Oxidation of Stainless Steels, MRS Bulletin/October 1994.

## Özkan'ın Yeşil Dönüşümü

### The Green Transformation of Özkan Demir Çelik



Hakan ERÇAY<sup>1</sup>, Fırat KALE<sup>1</sup>, Ayça ÇAKIN<sup>1</sup>, Nurdan GÜNDOĞAN<sup>1</sup>, Tuncay DİKİCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Özkan Demir Çelik, <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi - Türkiye

#### Abstract

From the Industrial Revolution to the present, the destructive effects of global environmental problems such as the serious increase in the amount of waste resulting from human activities, climate change, pollution of natural resources, and destruction of ecosystems have occurred, putting a global emergency on the agenda. To reduce and prevent environmental problems, it was decided to ensure sustainable production and consumption, low-carbon growth and cyclical transformation of the economy, establish an emissions trading system, and introduce a carbon tax at the border in 2025, with the European Green Deal and the Paris Climate Agreement at the top of the world agenda. As a result of these decisions, enterprises that realize green transformation will have a significant advantage for enterprises to minimize costs in production (saving policy, carbon tax exemption) and consumers prefer environmentally friendly products.

Özkan Iron and Steel Industry Inc. produces with environmentally friendly technology to meet the needs of the environment and consumers with an environmentally conscious attitude. We are aware of our responsibility to prevent the climate crisis and ensure the sustainability of natural resources. We use innovative technologies that enable us to reuse our natural resources for sustainable living and production. In our processes, waste generation is monitored with a life cycle approach, and we continue our efforts to reduce waste at the source and reuse it by joining the system. We manage our energy to increase energy efficiency and reduce carbon emissions by designing building roofs to benefit from natural light and using efficient pumps and motors and LED fixtures. The amount of greenhouse gas emissions throughout the life cycle of the products we manufacture has been calculated and verified in Environmental Product Declarations (EPD) documents and published on the Digital Environmental Hub for Global Construction Products and The International EPD System platforms.

#### Özet

Sanayi devriminden günümüze kadar olan süreçte insan faaliyetleri sonucunda atık miktarlarındaki ciddi artışlar, iklim değişikliği, doğal kaynakların kirlenmesi ve ekosistem tahribatı gibi küresel çevre sorunlarının yok edici etkisiyle karşı karşıya gelinmiş ve dünya gündeminde küresel ölçekte acil durum ilan edilmiştir. Yaşanan çevre sorunlarının azaltılması ve önlenmesi için dünya gündeminde en çok yer alan Avrupa Yeşil Mutabakat ve Paris İklim anlaşması ile sürdürülebilir üretim ve tüketim, düşük karbonlu büyüme ve dögüsel ekonomi dönüşümünün sağlanması, emisyon ticaret sisteminin kurulması ve sınırda karbon vergisi uygulamasının 2025 yılında devreye alınması kararları alınmıştır. Bu kararlar neticesinde yeşil dönüşümü gerçekleştirecek işletmeler, üretimdeki maliyetleri minimize etmesi (tasarruf politikaları, karbon vergisinden muafiyet) ve tüketicilerin çevreye duyarlı ürünleri tercihi işletmeler açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır.

Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş. olarak, çevreye duyarlı bir tutumla çevrenin ve tüketicilerin ihtiyaçlarının karşılanması için çevre dostu teknoloji ile üretim yapmaktayız. İklim krizinin önlenmesi ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması için üzerimize düşen sorumlulukların farkındayız. Sürdürülebilir yaşam ve üretim için doğal kaynaklarımızı yeniden kullanma fırsatı veren yenilikçi teknolojiler kullanılmaktadır. Süreçlerimizde yaşam döngüsü yaklaşımı ile atık miktarları takip edilmekte olup atıkların kaynağında azaltılması, sisteme katılarak yeniden kullanılması için çalışmalarımızı sürdürmekteyiz. Bina çatılarının doğal aydınlatmadan yararlanacak şekilde dizayn edilmesi, verimli pompa ve motorların ve LED armatürlerin kullanılması ile enerji verimliliğini artırmak ve karbon emisyonunu azaltmak için enerjimizi yönetmekteyiz. Ürettiğimiz ürünlerde çeşit bazında yaşam döngüsü boyunca sera gazı salımı miktarlarını, Environmental Product Declarations (EPD) belgelerinde hesaplaması ve doğrulaması yapılmış olup Digital Environmental Hub for Global Construction Products ve The International EPD System platformlarında yayınlanmıştır.

## 1. Giriş

Özkan Demir Çelik A.Ş., 1953 yılında kurulmuş olup, İzmir ili Aliğa ilçesi demir çelik bölgesinde 460.000 m<sup>2</sup>'lik bir alanda üretimine devam etmektedir. Çelikhane yıllık üretim kapasitesi 1 milyon ton ve haddehane üretim kapasitesi 700 bin ton olan firmamız, otomotiv, enerji, gemi sanayi, maden ve tünel, demir yolları, iş ve tarım makineleri gibi birçok sektöre hizmet sunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. (a) Çelikhane genel görünüm (b) Haddehane genel görünüm

İnsan ve ekolojik denge ilişkisinin bozulmasına yol açan ve dünyanın her yerinde mevcut olan çevre kirliliğinin en önemli sebebi, 19. yüzyılda başlayan ve hızla gelişen sanayileşme ve gerekli tedbirlerin yeteri kadar alınmaması gösterilebilir [1]. Hızla gelişen sanayinin sonucu büyüyen ekonomiler kontrolsüz çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Hemen hemen dünyadaki her ülkenin ortak sorunlarından biri olan çevre kirliliği, küreselleşmenin de etkisiyle uluslararası bir sorun haline gelmiştir [2]. İktisadi kalkınma ve ekonomik refah her toplumun arzusu iken, bu hedeflere ulaşma yolunda ortaya çıkan çevre sorunları yeterli önlem alınmaksızın yapılan yatırım ve faaliyetler tüm insanlığı tehdit eden bir boyuta ulaşmıştır. Dünyada meydana gelen iklim değişikliği; sıcaklıkların artması, buzulların erimesi, deniz suyu seviyesinin yükselmesi, taşkınlar, kıyı kesimlerde toprak kaybı, aşırı buharlaşma ve kuraklığa bağlı oluşan yangınlar, göl ve ırmak sularının azalması, bitki ve hayvan türlerinin yok olması ya da azalması gibi birçok olumsuz sonuçlar doğmaktadır [3]. Bu olumsuz sonuçları en aza indirmek veya ortadan kaldırmak

için bireyler ve işletmeler olarak hepimize önemli görevler ve sorumluluklar düşmektedir.

## 2. Yapılan Çalışmalar

EPD (Environmental Product Declaration) ya da bir başka adıyla "Çevresel Ürün Beyanı Belgesi", ISO 14025'e göre tanımlanabilen, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerin, şeffaf ve karşılaştırılabilir bir biçimde iletimini ve sorgulanabilirliğini sağlayan, bağımsız kuruluşlarca doğrulanmış ve tescil edilmiş belgelerdir. EPD'ler, en sürdürülebilir seçeneği seçmek için farklı malzeme ve ürünlerin etkilerini karşılaştırmayı mümkün kılarak karbon emisyonunun azaltılmasını destekler.

Özkan Demir Çelik bu konuda ilk adımı atarak hammadde alımı, enerji kullanımı ve verimliliği; malzeme ve kimyasal madde içeriği; hava, su ve toprağa verilen emisyonlar ile atık oluşumunu nicel olarak değerlendirerek; Takım Çeliği, Yay Çeliği, Gemi Çeliği, Ray Çeliği, İslah Çeliği, Maden Çeliği, Otomat Çeliği, İnşaat Çeliği, Sementasyon Çeliği, Karbon Çeliği ve Rulman Çeliği ürün gruplarımıza ait 11 EPD belgesi alımı için başvurusunu yapan ve bu belgeleri uluslararası ve yerel platformlarda yayınlanan ilk firma olmuştur.

Yaşadığımız pandemi süreci çevre politikalarına ilişkin kuralları yeniden gözden geçirmemiz gerekliliğini ortaya koymuştur. Doğa, marka özümümü oluşturan tüm değerlerin odak noktası ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerimizin en önemli konusudur. Firmamızda gerçekleştirilen çelik üretiminde %95,81 tüketici sonrası hurda ve %4,19 tüketici öncesi hurda ile %100 geri dönüştürülmüş hurda kullanılmakta olup bu çerçevede çevre dostu üretim ekipmanlarına yatırım yapmaya devam ediyoruz.



Şekil 2. (a) Toz toplama ünitesi (b) Peletleme sistemi

Tesislerimizde bulunan Avrupa'daki ton başına en yüksek kapasiteye sahip toz toplama sistemleri, temiz bir çevrenin sürdürülmesini sağlamaktadır (Şekil 2). Ayrıca çevresel zararları en aza indirmek için katı atık yönetimi politikaları uygulanmaktadır. Firmamız, havayı korumak için 2.000.000 m<sup>3</sup>/h kapasiteli 6480 adet torba filtre sistemine sahip, demir çelik sektöründeki diğer tesislere nazaran birim çelik üretimi başına düşen en yüksek emiş kapasiteli toz toplama tesisine sahiptir

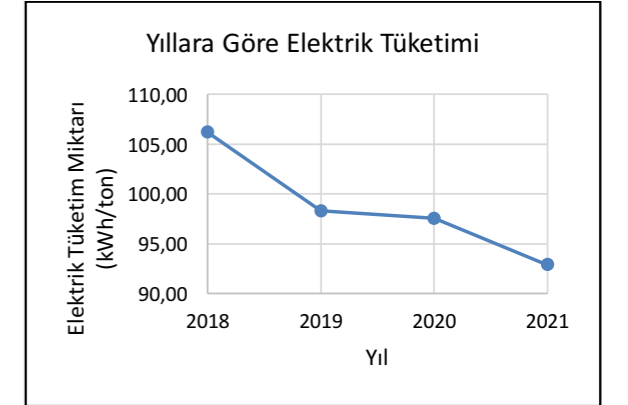
Bina çatılarımızın doğal aydınlatmadan yararlanacak şekilde dizayn edilmesi ile gün ışığından uzun süre faydalanarak enerji verimliliği sağlanmaktadır (Şekil 3a). Enerji açısından verimli ve uzun ömürlü LED aydınlatmalar tercih edilerek karbondioksit emisyonunun azaltılmasına, sınırlı enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve bu sayede çevrenin korunmasına katkı sağlanmaktadır.



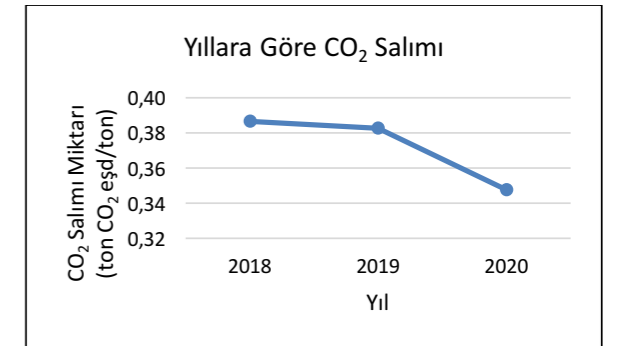
Şekil 3. (a) Şeffaf çatı uygulaması (b) Kullanılan motor ve pompalardan bir örnek

Endüstri tesislerinde pompa ve motor grupları en fazla enerji tüketen yerlerden biridir. Özkan Çelik olarak üretimde kullandığımız motor ve pompalar, verimlilikleri göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir (Şekil 3b).

Özkan Demir Çelik A.Ş. haddehane tesislerinde enerji tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salımı konusunda aldığı tedbirlerin sonucu olarak geçmiş son 4 yıla dair veriler Tablo 1. ve Tablo 2.'de verilmiştir.



Tablo 1. Haddehane tesisinin son 4 yılına ait elektrik tüketimi (kWh/ton)



Tablo 2. Tesisin son 3 yılına ait toplam CO<sub>2</sub> salımı (ton CO<sub>2</sub> eşd./ton)

Tablo 1.'de görüldüğü üzere, haddehane tesisinde elektrik tüketiminde son 4 yıl içinde yaklaşık %13'lük bir tasarruf sağlanmıştır. Çelikhane ve haddehanelerde doğalgazdan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımında da son 3 yılda %15'lik bir azalma gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Her iki grafikte de görüleceği üzere enerji tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salımı aldığımız tedbirler sayesinde düşüş göstermiştir. Sürekli gerçekleştirdiğimiz iyileştirme çalışmaları ile ilerleyen yıllarda da düşüş devam edecektir.

## 3. Sonuç

Dünyada artan enerji tüketimi ve çevre kirliliği küresel ısınma gibi birçok olumsuzluğu beraberinde getirmiş olup, CO<sub>2</sub> salımının azaltılması ve enerjinin tasarruflu kullanımı gibi bir dizi tedbiri zorunlu hale getirmiştir. Gelişmekte olan ülkeler içinde yer alan Türkiye'de de gelişen sanayi ile birlikte enerji tüketimi ve enerjiye olan ihtiyaç hızla artmaktadır.

Yüksek miktarda enerji ihtiyacı ve tüketimi olan sanayi kuruluşlarından biri olan demir çelik sektöründe enerjinin verimli kullanımı ve kayıp enerjinin geri kazanımı CO<sub>2</sub> ve diğer gazların atmosfere olan salımı azaltarak hem çevreye hem de ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Bu kapsamda Özkan Demir Çelik olarak, çelikhane ve haddehanelerimizde yaptığımız teknoloji ve enerji verimliliğine dayalı yatırımlar ve Ar-Ge çalışmaları sayesinde bu katkının bir parçası olmaktan gurur duyuyoruz. Geleceğimizin paslanmasına izin vermiyoruz. Sera gazı yutak alanları oluşturulması amacıyla İzmir ve çevresinde 30 bin ağaç yetiştiriyoruz. Bu kapsamda firma olarak bugüne kadar üzerimize düşeni yaptık ve yapmaya bundan sonra da devam edeceğiz.

#### Referanslar

[1] M. Deniz, Sanayileşme perspektifinde kentleşme ve çevre ilişkisi. Coğrafya Dergisi, (19), (2009) 95-105.

[2] H. Baykal ve T. Baykal Küreselleşen Dünya'da çevre sorunları/Environmental problems in a globalized World. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(9). (2008). 1-17.

[3] F. Zoray ve Pır, A. Küresel Isınma Problemi: Sebepleri, Sonuçları, Çözüm Yolları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Öğrencileri. (2007).

## Q-ONE : A Technological Breakthrough in the EAF Process Area



**Manuel BIANCO**

Danieli & C. Off. Mecc. - Italy

### INTRODUCTION

Electric Arc Furnace represents one of the most intensive disturbing loads in the transmission electric power systems, featured by rapid changes in absorbed power especially in the initial phase of melting, during which the critical condition of an interrupted arc may become a short circuit or an open circuit.

The traditional furnaces electrical design, using a furnace transformer, provides very large input ratings and due to nature of both, electrical arc and meltdown process, can generate large power quality problems on grid as:

- > Non symmetric current & voltage
- > Harmonics
- > Flicker
- > Voltage imbalances
- > Voltage drops
- > Over voltages

Conceived as innovative solution to supply the AC Electric Arc Furnaces, Q-ONE is the Danieli Automation's designed and patented equipment that uses latest power electronics technology to control arc current and voltage, handling irregular loads in a more flexible and reliable way, and values of power factor close to unity.

Q-ONE is a flexible and modular solution designed for the different sizes of arc furnaces. A specifically designed patented control system and configuration makes it possible to increase arc stability and reduce the transients that are known to wear out the EAF components during the melting cycles, significantly reducing maintenance stops and the cost of wearable parts, and at the same time optimizing the melting process.

Q-ONE minimizes network disturbances, handles large load unbalance, and virtually absorbs almost all active power from the supply network, achieving impressive results in terms of performances, reducing power-on times, reducing electrical energy and electrodes consumption while minimizing the impact on the grid, reaching the expected limits for harmonics and flicker without the need of additional compensation systems.

On top of this, this unique solution allows for the control of arc frequency, with excellent additional process and OpEx benefits.

Q-One is the real breakthrough in arc furnace technology.

## Earthquake Resistant Rebar - Processing Methodology

Depreme Dayanıklı Çelik – Proses Metodolojisi



**B. V. KIEFER, W. P. KREJDOVSKY**

Primetals Technologies - USA

### INTRODUCTION

The long rolling product areas of bar and wire rod include a wide range of sizes, grades and product applications. Applications range from fasteners and concrete reinforcement to tire cord and bridge cable. Many long rolling mills have older equipment, so are limited in the range of products they can make. Mills built in the last two decades have greater capabilities, but many are still quite limited in the range of processing that can be achieved, particularly for rolling at low temperatures.

With the early 1990s introduction to rod mills of the post-Morgan No-Twist Mill (NTM) mini-finishing blocks (MFBs) and Morgan Reducing/ Sizing Mills (RSMs), new capabilities became available for increased finishing speeds and improved product tolerance, together with the ability to achieve normalized rolling previously unattainable due to temperature accumulation through each of the stands of the NTM. This processing aspect of the new technology required products to be water-cooled and temperature-equalized immediately after leaving the NTM and prior to entering the MFB or RSM.

Along with the high productivity and efficiency attractions of the RSM, metallurgical processing flexibility has been an important benefit to specialty steel and cold heading quality producers. By improving as-rolled properties and microstructures of rod and bar products, subsequent downstream processes, most of which are done in-house by the major steel producers, can be eliminated or significantly reduced, therefore lowering the conversion cost. For other products, the ability to improve the as-rolled properties without expensive alloy additions has been a significant benefit. To achieve the desired properties in the as-rolled condition, products have to be thermomechanically rolled, requiring low entry temperatures into the MFB or RSM.

Through an engineered combination of proper mill layout and high load design of these post-finishing mill blocks, thermomechanical rolling at low temperatures becomes a practical production process. A successful combination of equipment design and process design has been developed, evidence of which is provided by more than 70 strands installed and operating MFB / RSM blocks in a variety of mill configurations, from existing two-strand rod mills to new high speed, high production rate single strand rod mills.

### THERMOMECHANICAL ROLLING

Thermomechanical processing has been successfully practiced for many years on flat products, primarily in the manufacture of rolled plate for applications to offshore structures, ship building, bridge building and line pipes. The desired product attributes and properties for these applications emphasize high strength, impact toughness, ductility and weldability 1, 2. For long products, the capability of thermomechanical processing has been available for some time, since the development of the Reducing/Sizing Mill and its use as a post-finishing block in rod and bar mills. However, the market has been slow to create demand for those products.

Hot rolling of rod is generally carried out in one of three basic temperature regimes: conventional rolling (CR), normalizing rolling (NR) and thermomechanical rolling (TMR). Although practices may vary from mill to mill, Conventional rolling is carried out at temperatures greater than 950°C, significantly higher than the Ac3 transformation temperature, principally because of rolling equipment and production rate limitations. Normalizing rolling is carried out at a stable austenite rolling temperature generally 60°C above the Ac3 temperature. Thermomechanical rolling is carried out just within the austenite or meta-stable austenite region near to the transformation start temperature (Figure 1).

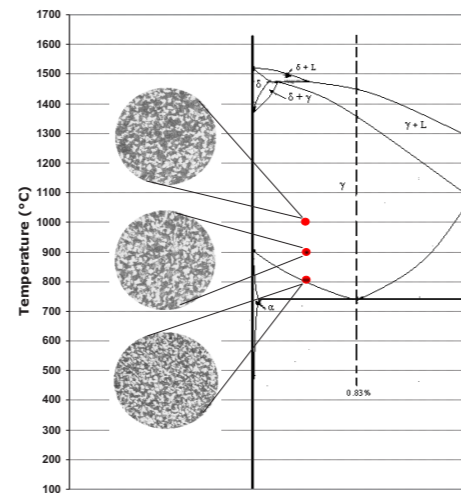


Figure 1. Iron-Carbon diagram showing the three rolling temperature regimes.

The metallurgical benefits of thermomechanical rolling result from grain refinement. In conventional high speed rod rolling, rod exiting the last rolling pass will have a grain-size rating greater than ASTM 13 but will see its grain-size rating grow very quickly as it travels several meters in air before entering a water cooling box. During this time, which is less than about 0.5 sec for most rod sizes, the grains grow very rapidly to as large as ASTM 8. Upon entering the water box, the surface grains are quenched but internally the grains are still growing due to the limiting rate of heat conduction. The net result is fine grains on the surface gradually increasing in size to much larger grains in the core, as the rod is then laid onto the Morgan Stelmor cooling conveyor. The grain size after conventional rolling from a ten-stand NTM followed by Stelmor cooling generally lies between ASTM 5 and 10 for most grades and situations.

The mechanism of recrystallization during NTM rolling is "dynamic" and is followed by rapid "metadynamic recrystallization," which requires no incubation period, and finally by "static" grain growth as the temperature decreases. "Dynamic recrystallization" in metals takes place when both nucleation and growth take place during deformation. This is described in a classic paper by Sellers and Whiteman 3. In order for dynamic recrystallization to take place, certain basic conditions must be fulfilled. In ferrous materials, the strain rate in particular must exceed about 0.12 (during a 15% reduction). In high speed rod mills, this is easily exceeded in the NTM due to strain accumulation from previous passes, i.e., there is insufficient time for recovery between passes. This is described in a paper by Neishi 4. If this critical strain falls within a region of about 0.06-0.1, then a mixed grain size may result, commonly described as "abnormal grain growth." However, Morgan Construction Company, now a part of Siemens, recognized this possibility and avoided these conditions in the design of the RSM by placing the stands very close together. The inter-pass time is thus very small (i.e., <0.05 sec) and consequently considerable strain accumulation occurs easily, exceeding the critical value of about 0.12. No incidence of "abnormal grain growth" has been recorded in these mills since the RSM was first introduced in 1993.

Dynamic recrystallization will take place uniformly throughout the section during RSM rolling, but the limiting factor thereafter is the rate of cooling. This is restricted by the rate of heat conduction from core to surface, not by the rate of surface heat transfer. Consequently, larger grains will grow in the center of the rod as the rod size increases. If the rod is rolled at, e.g., 850°C in the NTM and at 800°C in the RSM, then little or no water-cooling is required before laying onto the Stelmor cooling conveyor. Consequently, the grain-size is more uniform from surface to center of the rod section and, by virtue of the lower temperature, will be smaller. The uniformity and ductility of the end-product will be higher but the tensile strength may be slightly lower. Nevertheless, the

core grain size will be much smaller as a result of thermomechanical rolling.

TMR refines the final grain-size as a result of dynamic recrystallization and, combined with final in-line water cooling and controlled-cooling on a Stelmor conveyor, has a strong influence on the final product properties. It is particularly beneficial for low and medium alloyed steel products that are subsequently spheroidize-annealed during down-stream processing. With the ability to strongly influence grain size, subsequent transformation to hard products such as bainite and martensite can also be influenced as a result of shifting the transformation start time and temperature 5, 6. Thus, thermomechanical rolling can benefit direct downstream cold working and reduce annealing times 7.

### THERMOMECHANICAL ROLLING AND MILL LAYOUT DESIGN

In many existing rod and bar mills, the finishing block or finishing stand cannot sustain rolling temperatures lower than 900°C due to load or power restrictions on the older-design equipment. In the case of a rod mill with a heavy duty, ten-stand NTM, allowable temperatures may be as low as 850°C, but the rod temperature increase during high speed rolling will be at least 100°C on smaller sizes, therefore making it generally unsuitable for TMR. Using the single family concept of pass design made possible with the RSM, reducing the number of stands in the finishing block (e.g., from ten to eight), adding an RSM with high load capacity, and providing adequate water cooling and equalization distance between the two groups of stands, the ability to roll at very low temperatures, well within the TMR range, can be achieved. Alternatively, a combination of six-, four- and two-stand blocks together with carefully chosen roll pass design for critical products, and adequate water cooling and equalization distance between the groups of stands, can enable TMR rolling.

An example of the basic equipment layout for TMR in a high speed rod mill with a NTM and RSM is shown below in Figure 2.

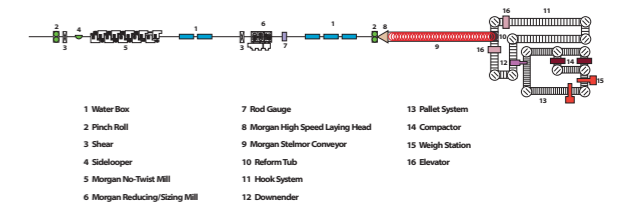


Figure 2. Mill equipment layout for thermomechanical rolling

### HIGH-STRENGTH CONCRETE REINFORCEMENT

Concrete reinforcement products constitute a significant percentage of the long rolling markets. In China alone, for example, approximately 20 percent of the total steel production is in rebar products. The demand for these products has continued to grow in developing countries as the need for infrastructure multiplies, as well as in developed countries with the need to replace aging infrastructure. This growing demand has prompted more study of the processing for these products, such as 9, 10.

There is a significant variation in the markets for reinforcement products around the world due to the differences in standards from country to country. In many countries, the domestic market requires yield strengths of only 335 MPa or 400 MPa, whereas others require levels of 500 MPa or higher. There is an economic incentive for higher strength material, since significant weight savings can be realized compared with lower strength grades.

Strengthening of reinforcement products can be achieved in a number of different ways, including:

**Cold deformation** – either cold rolling to create reduction and formation of ribs or cold stretching of hot-rolled ribbed material

**Micro-alloying (Conventional)** with elements such as titanium, niobium and vanadium

**Quench and temper processing (High Yield Quench and Self Temper)** to create a microstructure with a combination of tempered martensite outer ring and fine grain core.

**Thermomechanical rolling (Fine Grain Rebar FGRb)** to create a uniform fine grain microstructure

#### Cold Deformation

Processing of material at room temperatures to form ribbed product for construction is one of the oldest methods to manufacture these products. By either cold rolling or stretching, the material properties can be enhanced, but with some limitations and disadvantages.

Cold rolling is typically done on coiled product, rolling in ribs and creating enough reduction to increase strength through work hardening. The rolled product can be either re-coiled or cut into lengths for direct use in welded mesh or other form of reinforcement.

Stretching, such as by the CONTISTRETCH process, involves taking plain coiled product that has been rolled to a pre-determined diameter such that when stretched, the final diameter conforms to the product specification and customer need.

While cold deformation is practiced in numerous facilities throughout the world, it has some major limitations and disadvantages. In terms of properties, the deformation process

results in a significant decrease in ductility that limits the standards that it can meet. Also, these products are known to have lower fire resistance than other high-strength reinforcement material. One of the most significant disadvantages of this method is the low productivity involved, since the processing must be done off-line from the rolling mill at a much lower process speed, with additional handling involved.

#### Microalloying

Control of mechanical and metallurgical properties through microalloying is a well-known and well-developed approach. Use of vanadium and/or niobium in combination with relatively high levels of manganese enables physical properties to be tailored to a wide range of specifications. The microalloying creates a fine grain size in the final rebar, necessary to meet the mechanical property requirements.

Aside from providing adequate time in the billet reheat furnace to make sure that the microalloying elements are in solution, the major disadvantage of this approach is the added cost from use of alloys.

#### Quench and Temper

Perhaps the most widely used method of producing high-strength reinforcement products is the quench and temper process, which consists of a combination of finish rolling temperatures and controlled cooling to obtain a microstructure and associated mechanical properties in the as-rolled ribbed product.

The principle is to cool so as to quench the surface rapidly below the martensite start temperature and to reduce the core to near critical temperature. The rate of grain growth is exponential and very rapid at temperatures above 800°C but freezes below about 650°C. As a consequence, rapid water-cooling by the quenching process is applied in order to freeze as much as possible of the fine dynamically recrystallized grains. As the stock moves rapidly from the cooling medium the remaining heat in the core dissipates. Due to the sharp temperature gradient, the surface is rapidly heated and the core lowered in temperature to an equilibrium temperature suitable for tempering. Because cooling is designed to allow the core temperature to fall to a sub-critical temperature, the surface does not recrystallize.

Tempering allows the surface to become tough and the core strong. The cross-section is substantially a core with a distinct outer band of tempered martensite. The core will typically consist of a mixed microstructure of ferrite, degenerative pearlite consisting of globules of carbide with coarser lamella and possibly spheroids of carbide in pearlite colonies, bainite, some with inter lath carbides, and perhaps retained austenite.

The overall structure is very fine. The fine nature of the ferrite contributes significantly to the yield strength of the bar.

High-yield strength is produced by a combination of fine grain size and a self-tempered martensitic surface zone. The relative contributions to strength from the various hardening processes that are involved in the overall processing system are shown in Figure 3 below. Clearly, the grain size refinement contributes most significantly to the overall hardening process.

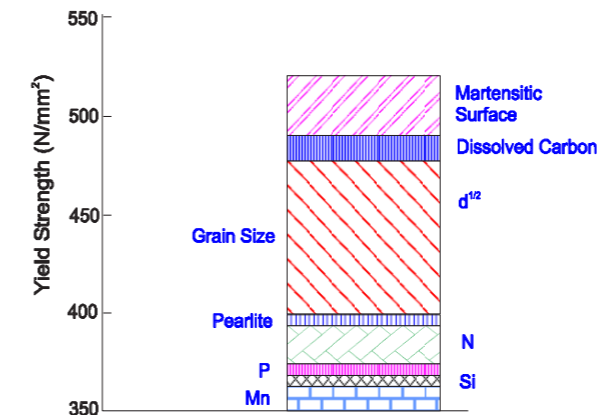


Figure 3. Contributions to strengthening in high strength rebar, 12.

#### Thermomechanical Rolling

Processing with low temperature rolling has the same grain-refining effect as the addition of microalloying elements, resulting in added strength and improved ductility from the fine grain microstructure. As explained above, the low rolling temperatures are achieved by strategic placement of water cooling boxes in the rolling line, coordinated with use of rolling units and roll pass design that limit the deformation heating in the last rolling stands.

Thermomechanical rolling of reinforcement steels is a straightforward application of the existing rolling technology of the Reducing Sizing Mill and mini-finishing mills – the only difference being that the final stand forms ribs rather than a plain round.

#### RESULTS OF THERMOMECHANICAL ROLLING

During the last two decades, many new mill installations and mill modernizations have been designed for low temperature rolling. The equipment and layout in many of these mills have been selected for production of spring, bearing and cold heading quality steels as the primary products to be

thermomechanically rolled. However, a number of these mills have been focused on the production of high-strength reinforcement for a large portion of their production.

Long product producers in the People's Republic of China have been particularly active in the development of these materials. The initial product development has been on lower-yield strength grades such as HRB400. For example, 6.0 mm, 8.0 mm and 10.0 mm coiled products meeting the requirements of Chinese Standard GB1499 with grade 20MnSi have been rolled on a rod mill with finishing block entry temperatures of approximately 800°C, 11. Yield strengths of greater than 420 MPa, elongations in the range of 22 to 35% and tensile-to-yield ratios in the range of 1.35 to 1.45 were obtained. The resulting microstructures, such as shown below in Figure 4, reach grain sizes in the range of ASTM 10 to ASTM 12.

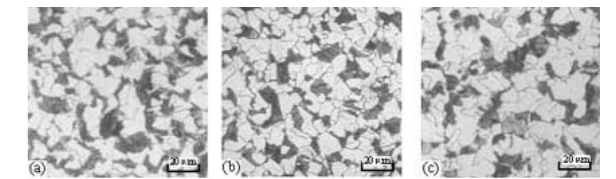


Figure 4. Microstructures of 6.0 mm, 8.0 mm, and 10.0 mm rebar, 11

Figure 5 shows the time-temperature transformation for the continuous cooling of an alloy similar to 20MnSi (diagram based on chemistry of 0.20wt%C, 0.50wt%Si and 1.15 wt%Mn). The Ac3 temperature is approximately 875°C, so the rolling of the fine grain rebar should be near to this temperature. This temperature can not be achieved in a typical 8 or 10-stand NTM, the use of a finishing block with water cooling before it is required. Grain size of a 8.0 mm rebar product produced using HYQST and rolled in eight NTM stands is approximately ASTM 8 – 9. This grain size is coarser than products rolled thermo-mechanically in a 2-stand finishing block.

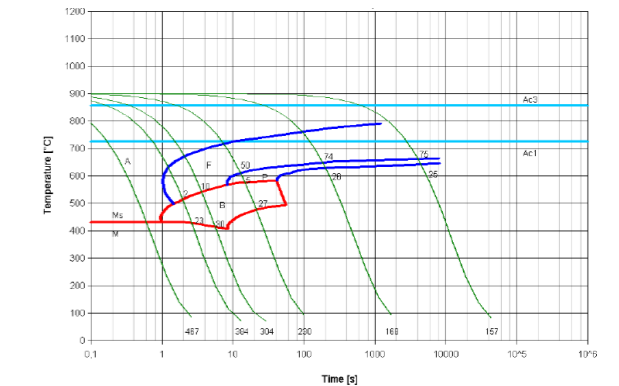
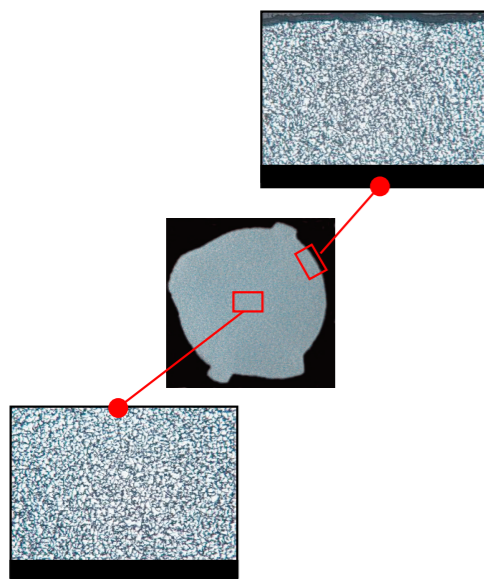




Figure 5. Time-temperature transformation diagram for continuous cooling of an alloy with near equivalent chemistry of 20MnSi

As an example of the microstructural uniformity that can be achieved through thermomechanical rolling, Figure 6 shows photomicrographs from a 10.0 mm rebar sample of grade



20MnSi rolled on another Chinese high speed rod mill with an NTM and RSM combination. Entry temperature to the RSM was approximately 800°C.

Figure 6. Microstructures of fine grain rebar, center and edge at 200X

Another mill in the PRC is also rolling fine grain rebar to Chinese Standard GB 1499 without microalloying, using a similar mill equipment configuration as in the previous two examples. Production of sizes 6.0, 8.0, 10.0 and 12.0 mm, at rates up to 120 tph, is generating considerable savings in alloy costs. Figure 7 below shows a representative sample of the fine grain microstructure, with grain size of ASTM 10, obtained consistently throughout the product.

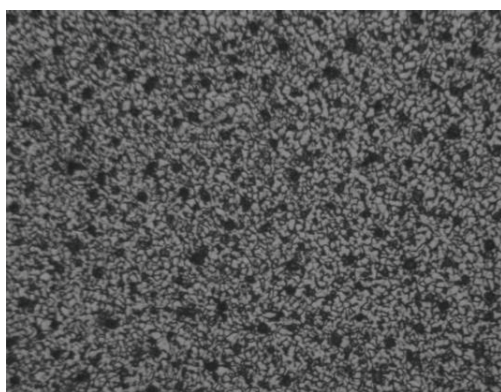
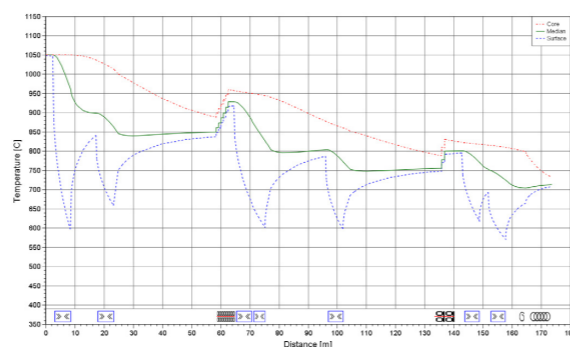


Figure 7. Microstructure of 8.0 mm fine grain rebar, 100X  
In order to produce fine grain rebar, the layout must be conducive to the process. There needs to be adequate water cooling and equalization distance into the final rolling block. An example of a temperature profile for this type of rolling is given in Figure 8. This profile starts from the exit of the pre-finishers and continues to the laying head. Out of the NTM, the product needs to be cooled for entry into the finishing block. In this instance, the 8-stand NTM is feeding a 2-stand Mini-Finishing Mill. This mill will be installed in 2013. The customer already has one rod line with a NTM and RSM which produce fine grain rebar, and has asked to build a second line dedicated to the processing of fine grain rebar. The core of the rod will be less than 850°C after final rolling. Water boxes located immediately after the final rolling stands will lock in the grain structure.

Figure 8. Temperature profile of 8.0 mm fine grain rebar.



Not only are the Chinese producers rolling these steel grades, but the future market trend in Europe could lead to fine grain products. A mill modernization scheduled for 2013 of a major German supplier of rebar will convert their micro-alloyed rebar rod production to fine grain rebar production. The entire basis of the modernization is to prepare the mill for thermo-mechanical rolling. Extra water boxes, equalization length, and ultra-heavy duty rolling blocks have been added to the existing layout. The production is designed to roll all rebar products in two stands after achieving an equalized block entry temperature of less than 800°C resulting in final core rolling temperatures less than 870°C.

## OUTLOOK

The production of high-strength rebar through thermomechanical rolling has been shown to be possible through the attainment of a uniform, fine grain microstructure. The process requires the proper combination of water cooling equipment for control of the stock temperature, rolling equipment to handle the high loads of low temperature rolling and arranged to limit the stock temperature increase, plus a

rolling mill layout that enables the proper cooling and temperature equalization in the product. This approach to production of reinforcement products is now in a position to be a viable alternative to microalloying and quenched and tempered processing routes.

No-Twist and Stelmor are registered trademarks of Siemens AG.

CONTISTRETCH is a registered mark of ASW Limited

## REFERENCES

1. K. Nishioka, "Market Requirements of Thermomechanically Processed Steel for the 21st Century", Proceedings, Thermomechanical Processing of Steels, IOM Communications Ltd., London, May 2000, Vol. 1.
2. R. C. Cochrane, "Customer Driven Steel Development, the Future for Structure/Property Relationships?", Proceedings, Thermomechanical Processing of Steels, IOM Communications Ltd., Conference TMP, London, May 2000, Vol. 1
3. C. M. Sellers and J. A. Whiteman, "Recrystallization and grain growth in hot rolling," Metal Science, March-April 1979.
4. Y. Neishi, et al, "Determination of hot sizing conditions for bar rolling to suppress the grain coarsening phenomenon," 67th Annual Convention of the Wire Association International, Atlanta, Georgia, USA, April 1997.

5. P. D. Hodgson, R. E. Gloss and G. L. Dunlop, "Microstructure Evolution During Rod and Bar Rolling," Proceedings, 32nd Mechanical Working and Steel Processing Conference, ISS-AIME, 1990.

6. I. Tamura, "Some Fundamental Steps in Thermomechanical Processing of Steels", 113th ISIJ Meeting, April, 1987.

7. Y. Ichida, "21st Century Trends in Steel Wire Rod and Bar", Kobelco Technology Review No. 25 Apr. 2002.

8. B. V. Kiefer, J. C. Vincent and R. A. Varo, Thermomechanical Process Improvements in High Speed Rod and Bar Rolling with Reducing Sizing Mills, International Conference on Thermomechanical Processing: Mechanics, Microstructure & Control, 23-26 June 2002, Sheffield, England

9. Y. Caifu, "Development of High Strength Construction Rebars", Proceedings, International Seminar on Production and Application of High Strength Seismic Grade Rebar Containing Vanadium, Beijing, 2010.

10. V. Goryany and V. Radsinsky, "Thermomechanical Treatment of Reinforcing Steel", Journal of Mining and Metallurgy, Vol. 38, 2002.

11. G. P. Chen, H. Zhong and J. Q. Sun, "Development of HRB400 Hot Rolled Ribbed Bar with Ultra-fine Grain", Shandong Metallurgy, 4th Edition, 2005

12. J. Majta, M. Pietrzyk J. G. Lenard and J. Janzen "Prediction of Mechanical Properties of Steel Strips after Hot Rolling", 37th MWSP Conference Proceedings, ISS, Vol. XXXIII, pp. 89 – 97, 1996.

## The Effect of Recycled Plastics and Cooking Oil On Coke Quality

Geri Dönüştürülmüş Plastiklerin ve Yemeklik Yağın Kok Kalitesine Etkisi

◆  
Hüseyin KALAY, Zekeriya ÖZER, Safi Ahmet ÇAL

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In this study, it is aimed to examine the effects of waste plastics and oils on the coking process and how the coke quality parameters change. For this purpose, waste plastics and oils with different properties that can be used in the process in our facility have been determined. 1% and 2% plastic waste and 0.5% domestic oil waste were added to the base coal. The quality parameters examined in order to make the necessary evaluations are CSR (post-reaction coke strength), CRI (coke reactivity index), ash, volatile matter and sulfur values. According to the results of the analysis of the coke quality parameters obtained, it was observed that the best mixture was obtained by adding 1% plastic and 0.5% oil on the base blend. Optimization studies in quality parameters continue with different plastic types and oil ratios. When the results obtained from the experiments are examined, it has been determined that the use of plastic waste and oil in iron and steel production is suitable for the production process. In this study, the effects of coke, recycled plastics and edible oil obtained in coke batteries of Iskenderun Iron and Steel Factory (ISDEMİR) on the coking process and coke quality, and the optimization of quality parameters were investigated.

### 1. Introduction

Plastic; It is the name given to the monomer formed by carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and other organic or inorganic elements. The main types of plastics are divided into two groups as thermoplastics and thermoset plastics. Thermoplastics are linear polymers that become plastic when heated. Polyesters, polyethers, polyamides, polyalcohols are included in this group. Thermoset plastics, on the other hand, do not become plastic when heated, harden when they see temperature and stay that way. Polyurethanes are included in this group. Plastic types are shown in Figure 1 [1].



Figure 1. Types of plastics.

Along with the developing technology, the widespread use of different types of plastics in many areas has also significantly increased the amount of waste plastic. Plastic materials are frequently used in electrical household appliances, automotive industry, cosmetics, food packaging, health care, construction industry and cleaning products. It is possible to encounter plastic in every area of our daily life and to use related products. According to the PAGEV plastics industry monitoring report; It is estimated that the total plastic raw material production in the first 6 months of 2019 was around 507 thousand tons. 31% of the total plastic raw material produced was LDPE, 9% HDPE, 15% PVC, 12% PP, 10% PS and 23% PET [2]. The increase in the amount of waste plastic simultaneously causes an increase in the amount of waste plastic. Accumulation of waste plastics in open storage areas causes many different harmful effects, especially environmental pollution. Since the degradation of these waste plastics in nature takes a long time, and the recycling rate of waste plastics is low, the amount of waste is increasing day by day. Plastic pollution has negative effects on all living things and the environment, especially on humans. As shown in Figure 2, plastic garbage in the oceans, erosion and chemical corrosion and environmental problems can be given as examples. In addition, toxic gases released during the processing of petroleum, which is the raw material of plastic, cause environmental pollution. Since plastic wastes are potentially toxic and contain raw materials harmful to human health, recycling in nature is important. Considering all these damages of plastic pollution, it has been observed that the ecological balance is disturbed, global warming and greenhouse gas increase [3].



Figure 2. Environmental problems caused by plastics.

Recycling of waste plastics is one of the most popular topics around the world. The use of waste plastic in recycling is extremely important in terms of energy efficiency and reducing the amount of environmental waste. In the literature. There are many studies on the recycling of waste plastics in areas such as Logistics, automotive, iron and steel, construction etc. [4,5]. Another type of waste, which is extremely important to recycle, is domestic oil waste, because these oil wastes, which are not disposed of properly, harm the environment and cause some problems in the sewage treatment plant. Recycling of domestic oil residues is involved in many application areas. There are recycling facilities in many different areas such as biodiesel production, electricity production and cosmetics production. Some examples of the usage areas of waste oils are given in Figure 3. The use of waste oil in the iron and steel industry is very low. There are not enough similar studies in the literature, but with this study, different developments will be achieved on the positive effects of recycling and an improvement in coke quality parameters will be achieved by adapting it to our own process.

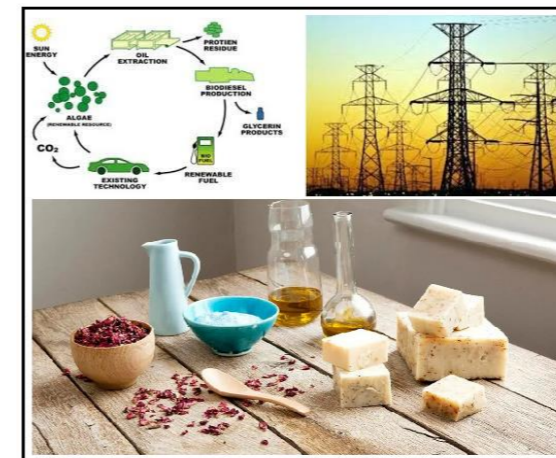


Figure 3. Usage areas of waste oils.

The use of waste plastics and cooking oil in the coking process both contributes to the environment by reducing the amount of waste and increases productivity by reducing the amount of coal use. In addition, it was observed that the properties of the obtained metallurgical coke were improved.

### 1.1. Use of recycled plastics and cooking oil in the coking process

One of the old application areas of recycled plastic waste and cooking oil is the iron and steel industry. While it is used as a fuel and reducing agent in blast furnaces, it is used instead of raw materials at certain rates in the coking process. Therefore, CO<sub>2</sub> emissions are reduced, energy savings are achieved and higher quality coke is obtained. By adapting plastic and oil wastes to processes in this way, environmental pollution decreases, recycling speed increases, more efficient products are obtained and cost-effectiveness is achieved. In addition, a decrease in the amount of imports occurs and new employment areas are provided. First of all, plastic wastes with certain characteristics collected in the operation area are separated and brought to the desired dimensions in order to be charged to the furnaces. Metal particles in waste plastics and oil are separated by magnets or similar metal collecting equipment. Then, the plastic and oil mixture obtained in certain proportions is mixed with the coal with the help of conveyors to be added to the process and the coking process is started. After the coking process, coke, tar, gas and light oils are obtained [6].

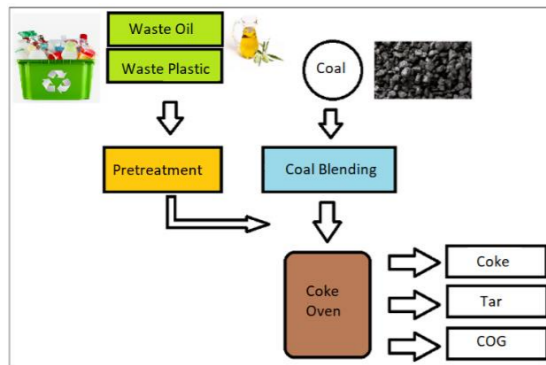
### 1.2. Parameters affecting coke quality

The main parameters affecting the coke quality can be listed as ash content, volatile matter content, fixed carbon content, sulfur value, humidity, stability, hardness, CSR and CRI values and size. If the process sufficiency is ensured, large-sized and high-strength coke is obtained. CSR (post-reaction coke strength) value measures the strength of coke against mechanical loads. The desired CSR range is in the range of 55-60%, but above 60% is preferred. The CRI (coke reactive coefficient) value is required around 21-22% on average. One of the most important parameters affecting the working process of blast furnaces is coke moisture. It is desirable to keep the humidity as low as possible because high humidity causes cooling in the furnaces, energy loss and decreased efficiency. Since low slag ratio is required in blast furnaces, the amount of coke ash should be low. If the amount of sulfur in the coke is high, it causes the use of more limestone in blast furnaces. This increases the coke utilization rate. Therefore, the amount of coke sulfur should be low. The sulfur content in the coke does not exceed 0.60%. The stability of coke is related to the resistance of

coke in blast furnaces. The approximate stability value should be more than 55%.

**1.3. Improvement of coke quality parameters**

When the conditions of the coking process are examined, it has been observed that the use of recycled plastic waste and edible oil wastes is appropriate because the charged wastes are easily broken down at high temperatures. The plastic and edible oil required to improve the coke quality parameters should be optimized and used in the process at certain rates. In addition, the coking time should be taken into account when determining these rates. The use of waste oil and plastics obtained in the coking process is shown schematically in Figure 4.



**Figure 4.** Use of waste plastics and oils in the coking process.

**2. Experimental Studies**

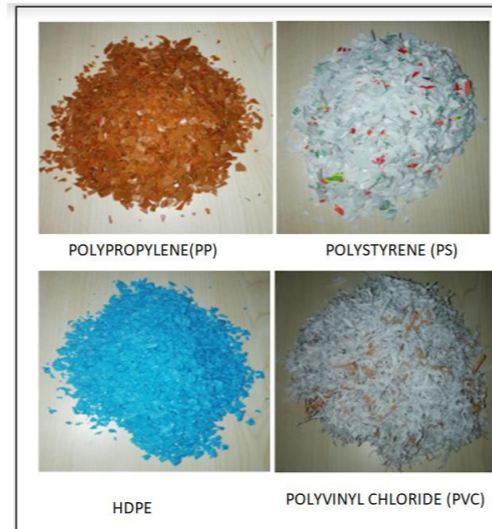
This study was carried out to examine the evaluation of plastic and oil wastes, which are frequently increasing today, in the iron and steel industry. The main quality parameters of coke, which are ash content, volatile matter content, fixed carbon content, sulfur value, moisture, stability, hardness, CSR and CRI values, were investigated by adding waste plastic and oil at different rates to the existing coal blend.

Within the scope of the study, 0.5% of the domestic oil wastes will be used as waste oil by evaluating the previous experiments in the literature. Plastic waste containing 5% LDPE, 33% HDPE, 24.8% PS, 10% PP, 5.2% PVC, 21% PET and 1% cellulose will be used at the rates of 1% and 2%. Since the effect of plastic waste will be examined in the first study, only plastic waste will be added to the coal blend. In the next studies, the waste oil will be used in the specified proportions to examine the effect of the waste oil.

During the experiment; In the analysis laboratory, the plastic waste and coal blend are adjusted to be charged into the 350 kg pilot furnace. According to the ratios stated above, waste plastic types and oil amount are determined and necessary weights are taken. Waste plastic materials collected from different points of the facility are turned into small pieces as shown in Figure 5 and Figure 6. Before being charged to the furnace, these shredded plastic wastes and oil wastes are mixed with the coal blend. As shown in Figure 7, it is ensured that the wastes are dispersed in the coal blend. This mixture is charged into the kiln and the kiln doors are closed. After coking for 20 hours, coke and ash analyzes are made for the coke formed. The coking oven and the coke after coking are shown in Figure 8.



**Figure 5.** Plastic and oil waste.



**Figure 6.** Plastic waste.



**Figure 7.** Mixing of coal and waste materials in the mixer.



**Figure 8.** The coking oven and the coke obtained

**3. Results and Discussion**

Within the scope of this study, in order to examine the effect of plastic and oil wastes on coke quality parameters, both the base coal blend and the coal blend, in which plastic and oil wastes were added, were charged in a 350 kilogram pilot furnace and coking process was carried out. The quality parameters of the coke obtained were analyzed. These values are shown in Table 1.

The quality parameters of coke obtained after the coking process, such as ash content, volatile matter content, and moisture content, should be low as they directly affect the energy saving and working efficiency of blast furnaces. Since the CSR (post-reaction coke strength) value measures the strength of coke against mechanical loads, it is preferred that this value is in the range of 55-60%. The CRI value showing the reactivity of the fragrance should be in the range of 21-22%. Another preferred value is that the

hardness value, which determines the durability of the coke, is 60%, as is the CSR value. When the coke quality parameters mentioned above are evaluated together, it has been observed that the coal blend prepared by using 1.0% plastic waste and 0.5% oil waste gives better results compared to the base coal blend. According to the results obtained with the coal blend using only plastic waste, the coal blends where plastic and oil waste are used together have improved quality parameters. The results obtained belong to the pilot furnace, it is thought that better results can be obtained when the operation is started.

**Table 1.** Coke quality parameters analysis results.

ISDEMIR	COKE ANALYSIS						
	Ash (d.b.)	Volatile Materilas (d.b.)	Sulfur (d.b.)	CRI	CSR	Stability	Hardness
	%	%	%	%	%	%	%
Charge 1 Base Blend	10,29	1,02	0,71	30,53	51,34	45,30	57,80
Charge 2 Added 2% Plastic	10,17	1,02	0,71	31,30	48,31	39,60	58,70
Charge 3 Added 2% Plastic + 0.5% Oil	9,94	1,14	0,77	31,27	50,15	39,70	58,90
Charge 4 Added 1% Plastic + 0.5% Oil	10,19	1,22	0,72	29,40	51,10	39,80	59,10

**4. Conclusion**

It has been observed that the use of plastic wastes and oil wastes in the iron and steel industry is an opportunity both to improve coke quality parameters and to reduce the damage of these wastes to the environment. With the recycling process of waste plastics using coke ovens, it is possible to convert waste plastics into coke, tar, light oil and gas and reuse them as chemical raw materials. With the use of these wastes, both the amount of raw material input will decrease and higher quality coke will be obtained. Therefore, our work in this context continues. In the studies carried out, it is aimed to reduce environmental pollution, increase the recycling rate, reduce costs by using less imported raw materials, and new employment areas by adapting plastic and oil wastes to processes in this way. The aim of the research subjects on the use of waste plastic in coke ovens is to process waste plastics and to increase the rate of use of waste plastics in enterprises.

**Acknowledgment**

We would like to thank the ISDEMIR coke factory batteries operating chief engineer and coke analysis laboratory staff who contributed to this study for their support in both technical and analysis applications throughout the entire research.

## References

- [1] H. A. Maddah, Polypropylene as a Promising Plastic: A Review, American Journal of Polymer Science (2016) 6(1): 1-11.
- [2] PAGEV, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2019/6.
- [3] A. Kayan, A. Küçük, Plastik Kirliliğinin Çevresel Zararları Ve Çözüm Önerleri, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi (2020) 403-427.
- [4] M. T. Kayılı, G. Çelebi, Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi (2020) 148-157.
- [5] K. Kato, Waste Plastics Recycling Process Using Coke Ovens. Journal of Material Cycles and Waste Management, (2003) 5(2) 98-101.
- [6] K. Kato, Development of Waste Plastics Recycling Process Using Coke Ovens, ISIJ International (2002) 10-13.

## Su Kaynaklarının Etkin Yönetimiyle Su Tüketiminin Azaltılması

Reducing Water Consumption Through Effective Management of Water Resources



**M. Burak ATAN, Erkin Y. GEDİK, Onur MARTİ, Arif AKSOY, Gökhan GÜNGÖR, İbrahim SARI**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

One of the main uses of water in the iron and steel industry is circulation facilities. In order for the water to be used efficiently in the circulation facilities, the quality of the water source must be good. COC is a term often used to describe- water use efficiency in cooling towers. COC shows the relationship between the amount of additional water and the amount of discharge water.

ISDEMİR water resources have different qualities. The use of water with better water quality in the factory area has been increased with the work done and the systematics established. Good water quality provided high Cycle of concentration (COC) and low water consumption. In addition, taking into account the need to protect groundwater, efforts were made to prevent situations that reduce the use of surface water, and groundwater consumption was reduced throughout the year.

### Özet

Demir çelik sektöründe suyun ana kullanım alanlarından biri sirkülasyon tesisleridir. Sirkülasyon tesislerinde suyun verimli olarak kullanılabilmesi için su kaynağının kalitesinin iyi olması gerekmektedir. Konsantrasyon katsayısı (COC) soğutma kulelerinde su kullanımı verimliliğini tanımlamada sıklıkla kullanılan bir terimdir. COC ilave su miktarı ve boşaltım suyu miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir

ISDEMİR su kaynakları farklı kalitelere sahiptir. Yapılan çalışma ve kurulan sistemlerle su kalitesi daha iyi olan suyun fabrika sahasında kullanımı artırılmıştır. Su kalitesinin iyi olması beraberinde yüksek COC ve düşük su tüketimi sağlamıştır. Ayrıca yeraltı sularının korunması gerekliliği göz önünde bulundurularak, yerüstü sularının kullanımını azaltan durumların önlenmesi çalışmaları yapılarak sene içerisinde yeraltı suyu tüketimi azaltılmıştır.

### 1. Giriş

Su kaynakları; Yeryüzünün yüzeye yakın katmanlarında ya da yüzeyinde, doğal süreç içerisinde yağmur ve eriyen kar sularından oluşabileceği gibi, yüzey altı içerisinde yine doğal süreçte damıtılıp arındırılmış suyun tekrar yeryüzüne çıkması ya da çıkarılması ile de elde edilebilir. Su kaynakları olarak;

Yer altı suları,  
Kaynak suları,  
Akarsular,  
Göl ve göletler,  
Denizler sayılabilir.

Demir-çelik sanayinde suyun en çok kullanım alanları soğutma, ekipmanları koruma ve çalışanlar için çalışma koşullarını iyileştirmektir.

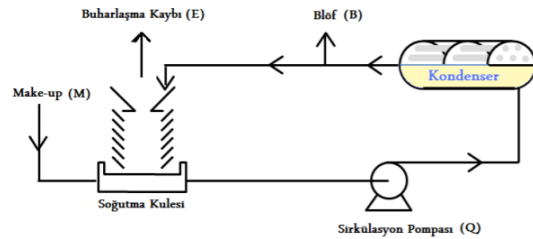
Endüstriyel proseste ısının giderilmesi veya taşınması gerekmektedir. Sistemlerde ısı transferi elemanı olarak su kullanılır. Suyun kullanım şekline göre sistemler 3 ana sınıfa ayrılabilir. Bunlar:

Tek geçişli soğutma,  
Açık çevrimli (çok geçişli) soğutma,  
Kapalı devre soğutmadır.

Su tüketiminin farklılık göstereceği ve tasarruf alanının en fazla olduğu sistem açık çevrimli su sistemleridir.

Açık çevrimli sistemlerin prensibi kısaca şöyle açıklanabilir: Sirkülasyon pompaları ile gerekli miktarda soğutma suyu kulenin havuzundan çekilir ve ekipmanlardan veya ısı eşanjörlerinden geçirilerek buralardaki sıcaklığı üzerine alması sağlanır. Isı eşanjörlerinde gerçekleşen ısınma, soğumaya karşılık olmaktadır. Isınmış bu su, soğutma kulesinde soğutulurken eşanjörlerde gerçekleşen ısı artışı soğutma kulesindeki ısı düşümüne denktir. Isınmış soğutma suyunun soğutma kulesinde soğutulması suyun bir kısmının buharlaşması ile gerçekleşir. Buharlaşma, blöf ve kaçaklar ile eksilen su, taze su ile tamamlanır.

Çözünmüş maddeler buharlaşmadıkları için, sirkülasyon suyunda konsantrasyonları sürekli artar. Bu artış sınırlanmazsa tuzlar er veya geç çözünme sınırlarını aşacaklardır. Yüksek tuz konsantrasyonlarından kurtulmak için suyun bir kısmı sürekli veya aralıklı olarak boşaltılmalıdır. Bu işlem blöf olarak adlandırılır. Soğutma suyunda bulunan tuzların taze sudakilere oranına ise konsantrasyon sayısı (COC) denir.



Şekil 1: Açık çevrim sirkülasyon sistemleri

Sirkülasyon sistemleri yani açık çevrimli soğutma sistemlerinde suyun verimli olarak kullanılabilmesi için su kaynağının kalitesinin iyi olması gerekmektedir. COC soğutma kulelerinde su kullanımı verimliliğini tanımlamada sıklıkla kullanılan bir terimdir. COC ilave su miktarı ve boşaltım suyu miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir.

Bir açık devre soğutma sisteminde sistemden eksilen su aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [1].

$$M = E + B + DL \quad (1)$$

M: Make-up (katma suyu) miktarı  
E: Evaporation (Buharlaşma kaybı)  
B: Blöf edilen miktar  
DL: Drift Loss (serpinti) olup, birimleri m<sup>3</sup>/h 'dir.

Sisteme ilave edilecek taze su miktarı, sistemden buharlaşma, blöf ve serpinti kaybı ile eksilen toplam su miktarı kadar olacaktır. Bir açık çevrim sisteminde buharlaşma kaybı (E), Eşitlik 2 ile hesaplanabilir:

$$E = Q \times \Delta T \times k \quad (2)$$

E: Evaporasyon (Buharlaşma debisi) (m<sup>3</sup>/h)  
Q: Sirkülasyon debisi (m<sup>3</sup>/h)  
ΔT: Soğutma sistemine giriş ve çıkış sıcaklık farkı (°C)  
K: Sıcaklık değişim katsayısı sabiti (1/560) (1/°C)

Soğutma kulesinde her 5,6 °C sıcaklık düşmesi sirkülasyon debisinin %1'i oranında buharlaşmaya neden olmaktadır. ΔT değeri yaklaşık 11,2 °C olan bir sistemde %2 buharlaşma kaybı olacağı hesaplanmıştır. Buna göre 11,2 °C sıcaklık düşmesi olan bir sistemde k değeri 1/560 olarak alınmalıdır [1].

Bir açık soğutma sisteminde konsantrasyon faktörü (C) değeri basitçe blöf (B) suyundaki iletkenlik değerinin besi suyunun (M) iletkenlik değerine olan oranıdır.

Konsantrasyon sayısı hesaplama formülü (COC):

$$COC = \frac{\text{İletkenlik (B)}}{\text{İletkenlik (M)}} \quad (3)$$

Açık soğutma sistemi içerisinde blöf yolu ile atılması gereken su miktarı ise eşitlik 4 ile hesaplanabilir.

$$B = \frac{E}{(C-1)} - DL \quad (4)$$

Burada:

B: Blöf, (m<sup>3</sup> /h)

E: Buharlaşma debisi, (m<sup>3</sup> /h)

C: Soğutma sisteminde konsantrasyon katsayısı

DL: Serpinti, (m<sup>3</sup> /h)

İlgili formüllerden de görüleceği üzere sirkülasyon sistemlerinde doğadan çekilecek su miktarını belirleyen parametreler buharlaşma, serpinti ve blöf suyu miktarı oluşturmaktadır. Buharlaşma ve serpinti kısmında su tüketimini azaltabilecek uygulamalar çok sınırlı ve küçük miktardadır. Su tasarrufu konusunda iyileştirmeye en açık alan blöf suyunda bulunmaktadır. Eşitlik 4 ile görülmektedir ki blöf miktarı direk sistem suyunun iletkenliğinin, doğadan çekilen suya yani make up suyunun iletkenliğinin oranı ile belirlenmektedir.

Sistem suyunun maksimum iletkenliği dizayn firmaları ve sistem gereklilikleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Sistemler arızalara sebebiyet vermemek için bu değer değiştirilememektedir. Ancak kaynak suyunun yani make up suyunun iletkenliği ne kadar düşük olursa su tüketimi de o kadar az olacaktır.

## 2. Çalışmalar

Su kaynakları temelde yer altı ve yer üstü suları olarak sınıflandırmakta mümkündür. Sanayi kuruluşlarında genel olarak bu iki su tipi kullanılmaktadır. Bu iki farklı su kaynağının farklılıkları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Yeraltı ve Yerüstü Sularının Farkları	
Yeraltı Suları	Yerüstü Suları
Bileşimi sabit	Bileşimi değişken
Yüksek mineral içeriği	Düşük mineral içeriği
Bulanıklığı az	Bulanıklığı yüksek
Renksiz	Renkli
Mikroorganizma yok	Mikroorganizma var
Sertliği yüksek	Sertliği düşük
Demir ve manga içeriği Yüksek	Demir ve manga içeriği düşük

Çizelge 1: Yeraltı ve yerüstü sularının karşılaştırılması

Çizelgeden de görüleceği üzere yeraltı sularında yüksek minarel içeriği yani yüksek iletkenlik sorunu mevcutken, yerüstü sularında ise bulanıklık yüksek sorunu bulunmaktadır.

Ayrıca suların insanlık açısından önemi değerlendirildiğinde yeraltı sularının korunması dünyanın geleceği için önem taşımaktadır. Su kaynaklarımızı gelecek nesillere aktarılması gereken bir miras olarak besimsediğimizde denize ulaşan suların kullanımına öncelik verip, dünyanın su deposu olan yeraltı sularının kullanımını azaltmamız gerekmektedir.

İsdemir'in endüstriyel tatlı su kaynakları; Mersin Çayı Suyu, Kuyu Suyu ve Aslantaş Baraj Suyu 'dur. Bu su kaynaklarının yanı sıra, İsdemir'de buharın kondensi amacıyla deniz suyu da kullanılmaktadır.

Mersin çayı İSDEMİR'in kurulumundan bu yana su ihtiyacını karşılamakla birlikte bir doğal kaynak suyudur. Kimyasal özellikleri bakımından yeraltı suları sınıfında yer almakla birlikte, fazlasının denize ulaşması sebebiyle yerüstü sulara benzemektedir. Kuyu suları İSDEMİR'in modernizasyon çalışmalarında kullanılmak üzere devreye alınmış ve yer altı suyu kaynağıdır. Aslantaş suyu ise İSDEMİR'de yapılan yeni yatırımlarda tesislerin kaliteli su ihtiyacını karşılamak için kurulmuştur ve yerüstü su kaynağıdır.

İSDEMİR'in su kaynakları kimyasal analizli Çizelge 2'de yer aldığı şekliyledir.

Parametre	Mersin Çayı Suyu	Aslantaş Suyu	Kuyu Suyu
pH	7,2	77	7,2
SO <sub>4</sub> (ppm)	592	50	60
T.Sertlik (ppm)	800	200	400
İletkenlik (µsm/cm)	1500	500	1200

Çizelge 2: İSDEMİR su kaynakları analizleri

Çizelgede de görüleceği üzere Mersin Çayı ve Kuyu sularının iletkenlik değerleri dolayısıyla içerisinde çözünmüş iyonların miktarı Aslantaş suyuna göre yüksektir.

Mersin çayı su kaynağı fabrikada 3 şekilde kullanılmaktadır. Bunlar:

Herhangi bir kimyasal işleme tabi tutulmadan tüketilen sular (Kullanma ve Tek Geçişli Soğutma suyu), Fabrikanın yapımında dizayn edilen açık soğutma sistemlerinde make up suyu, Demineralize Su Tesisinde saf su elde etmek için kullanılmaktadır.

Aslantaş ve kuyu suları ise modernizasyon esnasında yapılan ve daha kaliteli su ihtiyacı bulunan açık soğutma sistemlerinde make up suyu olarak kullanılmaktadır.

Mersin çayı iletkenliği yüksek olduğu için özellikle sirkülasyon tesislerindeki COC sayısı düşüktür ve bu sebeple bu tesislerdeki su tüketimi fazladır.

Aslantaş suyunda ise kış aylarında yağışlara bağlı olarak bulanıklık artması sorunu oluştuğu için yağışların fazla olduğu dönemlerde kullanılmama sorunu bulunmaktadır.

Bu iki durumla ilgili yapılan çalışmalarla su tüketiminin azaltılması ve su kaynaklarının etkin kullanılması amaçlanmıştır.

### 2.1. Mersin Çayı Suyu Kullanılan Tesislerin Aslantaş Suyuyla Beslenmesi

Mersin çayı suyu fabrikanın kurulumundan yakın geçmişe kadar tek su kaynağı olarak kullanılmıştır. Mersin çayı su kaynağı tek su kaynağı olması sebebiyle İSDEMİR'in modernizasyon çalışmalarına kadar tüm sirkülasyon yani açık çevrim sisteminin make up suyu ihtiyacını karşılamıştır.

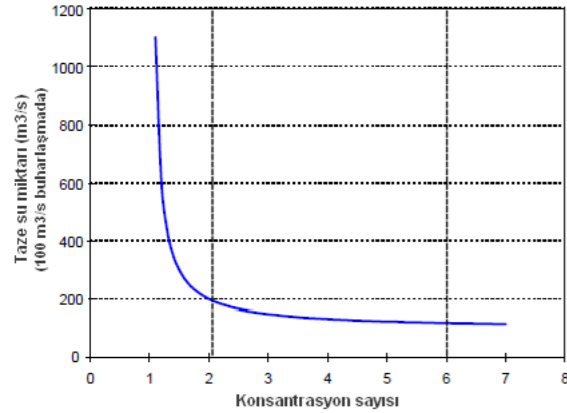
Mersin çayı suyunun iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle sirkülasyon tesisleri dizayn aşamasında bu suya göre yapılmıştır. Boru hatları olması gerekenden büyük çaplı bırakılmış, sistem ekipman ve malzemeleri de yine bu suyun hem korozif hem de birikinti yapıcı özelliğine göre seçilmiştir.

Teknoloji ve buna paralel sistemlerin değişmesiyle Mersin Çayı suyu kalitesi yeni yapılacak tesisler için yetersiz kalmıştır. Bu sebeple İSDEMİR olarak yeni su kaynakları arayışı başlamış yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda Kuyu suyu ve Aslantaş suyu kaynakları fabrikaya kazandırılmıştır.

Kuyu suları modernizasyon yatırımları esnasında geçiş amacıyla kullanılmış, Aslantaş suyunun gelmesinin ardından su kalitesinin ve yeraltı sularının korunması kapsamında Aslantaş suyunun devre dışı olduğu dönemlerde yeni tesislerin su ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır.

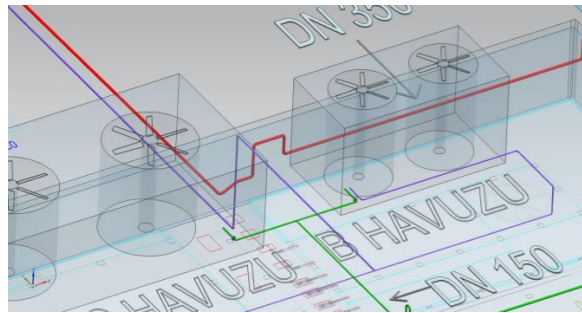
Aslantaş suyunu gelmesinin ardından Sıcak Haddehane ve Slab Döküm tesisleri Aslantaş suyuyla beslenmeye başlamıştır ancak 2-3-4 No.lu Yüksek Fırımlar, Kangal Haddehanesi, Kütük Döküm ve Hava Ayrıştırma tesislerinde Mersin Çayı suyu kullanılmaya devam etmiştir.

Aslantaş suyunun iletkenlik değeri 500 µsm/cm, Mersin Çayı suyunun ise 1500 µsm/cm seviyelerindedir. Yukarıda bahsi geçen sistemlerin iletkenlik üst limiti 3.000 µsm/cm kabul edildiğinde, COC sayısı Aslantaş suyunda 6, Mersin çayı suyunda ise 2 olmaktadır.



Şekil 2: COC ile alınan makte arasındaki bağıntıyı gösteren grafik.

Şekil 2'de de görüleceği üzere konsantrasyon sayısı azaldıkça kullanılan su tüketiminin dramatik şekilde arttığı görülmektedir. Bu sebeplerdir ki İSDEMİR'in su tüketimini azaltılması için Mersin Çayı suyu kullanılan sirkülasyon tesislerinde Aslantaş suyunun kullanılabilmesi için çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3: Yapılan altyapı ve borulama çalışmalarından örnek çizim

Yapılan çalışmaların tamamlanmasının ardından sirkülasyon tesislerinde Mersin Çayı suyu yerine Aslantaş suyunun kullanılmasına başlanmasıyla üretim temposu ve hava sıcaklıklarına göre değişim göstermekle birlikte yılda ortalama yaklaşık 300 m³/h su tasarrufu sağlanmıştır.

## 2.2. Aslantaş Suyunun Kullanım Sürekliliğinin Sağlanarak Yeraltı Su Kullanımının Azaltılması

İSDEMİR endüstriyel su ihtiyacının bir kısmını Aslantaş suyundan karşılamaktadır. Aslantaş suyu, Aslantaş barajının

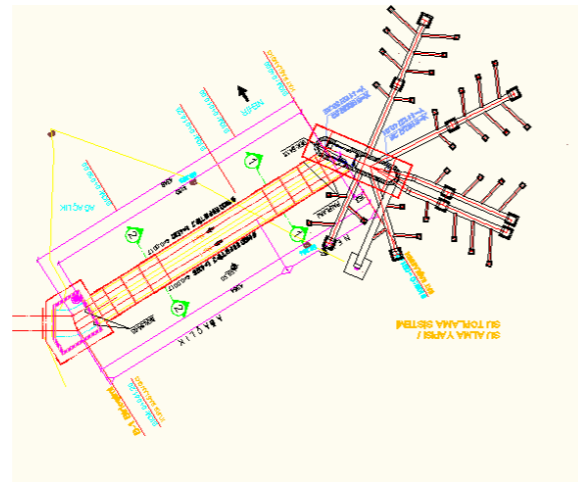
mansabında bulunan Cevdetiye regülatöründen temin edilmektedir.

Projenin yapımı esnasında yapılan su alma ağı bölgesinde Aslantaş Barajından gelen su ve hamus çayı suyu birbirine karışmaktaydı. Hamus çayı bölgedeki köylerinden arasında geçerek dağ eteklerine kadar uzanmaktadır. Hamus çayından yağışlı dönemlerde çok yüksek miktarda çamur gelmesi sebebiyle tesis kurumunda kum tutucu yapılması rağmen su sistemlerimize alınabilecek kalitenin dışında kalmıştır. Bu sebeple su alma ağı bölgesi boru hattı yardımıyla Aslantaş barajının membasına doğru uzatılmıştır.



Şekil 4: Aslantaş su alma ağının yerinin değiştirilmesi

Yüzey suyu olması sebebiyle su içerisinde bulunan tüm partikül ve parçacıkların arıtılması için su alma yapısı toprak altına ahtapot yapı denilen bir yapı ile alınmıştır. Bu sayede alınan su doğal bir filtreleme sonrası sisteme alınmaya başlanmıştır.



Şekil 5: Suyun filtrelenmesi için oluşturulan ahtapot yapısı

Aslantaş barajından gelen su ile hamus barajından gelen suyun tamamen ayrılması için su alma ağının önüne mahmuz yapısı yapılmıştır.



Şekil 6: Mahmuz yapısı

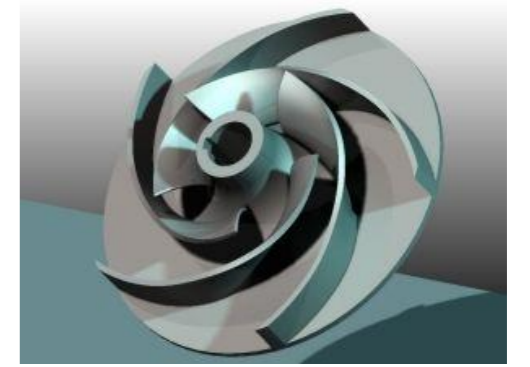
3 adımda yapılan çalışmalar neticesinde Aslantaş suyu ve hamus çayı birbirinden ayrılmış, su içerisinde olan kirliliklerin de sisteme girişi önlenmiştir. Ayrıca yağışlı havalarda su kalitesinin bozulması kaynaklı su temin edememe sorunu ortadan kaldırılmıştır.

Aslantaş suyunun kullanılmamasının ikinci bir sebebi ise barajda yaşanan kesintilerdir. Barajda yeterli su olmaması, bakım çalışmaları vb. sebeplerden zaman zaman planlı/plansız kesintiler meydana gelmesidir.

Bu kesintilerde sistemin en uzun süre Aslantaş suyuyla beslenebilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Hattın orta noktasında bulunan yüklem odası seviyesi ve kollektör basıncı verileri incelenerek hattın maksimum dolu oldu seviyeler belirlenerek tam dolu çalışma sistematığı kurulmuştur.

Sistem dizaynında pompaların emiş basıncı 2,5 bar olarak hesaplanmıştır. Sistem duruşlarında hattın içerisinde suyun azalmasıyla birlikte pompaların emiş basınçları düşmekte ve 1,5 barın altına düşmesiyle hattın içerisindeki sudan faydalanamamaktaydı. Duruşlarda hattın içerisindeki sudan maksimum faydayı elde edebilmek için yedek pomplardan 2 adetinin çarkı yeniden dizayn edilerek büyütülmüştür. Bu sayede hattın içerisindeki tüm sudan faydalanılarak, sistemin devre dışı kalma süresi uzatılmıştır.



Şekil 7: Pompa çarkı

Yapılan çalışmalarla birlikte yıllık ortalama 50 gün devre dışı kalan Aslantaş suyu, 5 gün devre dışı kalma seviyelerine düşürülmüştür.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Ülkemiz ve dünyada kuraklık riski her gün artış göstermekle birlikte, fabrikamızın su sağlamış olduğu havza içerisinde son yıllarda kuraklık etkisi ciddi şekilde hissedilmektedir.

Hem yaşamın devamı, hem de sanayi açısından bakıldığında üretimin devamlılığı için su olmazsa olmazdır. Fabrikamızda çevreci bakış açısı ile su tasarrufunun ne kadar önemli bilinmekte ve atılan tüm adımlar suyun daha verimli kullanımı yönündedir.

Yapılmış olan çalışmalarda su tüketiminin azaltılmasıyla birlikte, yeraltı sularının korunması da hedeflenmiş ve sağlanmıştır.

## 4. Sonuç

2 farklı başlık altında yürütülen projeler kapsamında 2 farklı çıktı elde edilmiştir.

Sirkülasyon tesislerinde Aslantaş suyunun kullanılmaya başlanmasıyla birlikte COC değeri yükseltilmiş ve bu sayede yıllık ortalama 2,6 milyon m³ doğadan çekilmesi önlenmiştir.

Öte yandan Aslantaş suyunun devre kalma süresi uzatılarak yılda ortalama 45 gün kuyu suyu yani yeraltı suyu kullanımı yapılmamıştır. 45 gün kuyu suyu kullanılmaması, 1,1 m³ suyun, yeraltı suyu depolarında tutulması anlamına gelmektedir.

## İsdemir Pulvarize Kömür Enjeksiyon Tesisi Dik Değirmen Giriş Mili Rulmanı Arızasının Periyodik Titreşim Ölçümleri ve Analizleri ile Belirlenmesi

Determination of Isdemir Pulverized Coal Injection Plant Vertical Mill Input Shaft Bearing Failure by Periodic Vibration Measurements and Analysis



Osman FİDAN, Serdar GÖNTE

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In this study, the failure and predictive maintenance work that we detected in the input shaft bearing of the reducer of the mill system no. 1 in the blast furnace pulverized coal injection (PCI) plant are discussed. There are 2 mills in the PCI facility. The coals coming from the raw material lines pass through the facility and are taken to the inside of the mill. Mill Inside, the coals are ground into powder by grinding. This coal dust is then filtered and taken to the injection tanks belonging to each furnace and sent to the furnaces from there. On the other hand, metallurgical coke is used to reduce combustion costs by injecting it from tuyeres into the blast furnace during incineration.

In the mill, the coals taken between the 3 fixed grinding wheels (roller) and the moving table at the bottom are grinded. This table is rotated by the reducer, which covers the entire lower part of the mill. Periodic measurements can be taken with a portable vibration measuring device only from the bearing on the outer part of the input shaft of the SXJ-190 model gearbox that moves the table. Controls of other bearings and gearbox interior are made during planned downtime. The periodic measurement route of the PCI facility includes the vibration measurement of all gearboxes and fans in the facility with the "Emerson AMS 2140" model. Then, these data are analyzed by transferring them to the "AMS Machinery Health Manager" program of the device we use. The bearing failure was detected before the planned stoppage, and it was taken to the stop plan and the input shaft bearing was replaced. With this predictive maintenance application, an unplanned stoppage is prevented and maintenance is carried out with less cost, preventing the complete failure of the gearbox.

It has been observed that the bearing health is normal in all periodic measurements made since the date of replacement of the gearbox input shaft bearing. Although there are differences in the spectrum values at low speeds depending on the coal grinded in the mill, that is, the system load, there is no malfunction in general.

### Özet

Bu çalışmada, yüksek fırınlar pulverize kömür enjeksiyon (PCI) tesisindeki 1 nolu değirmen sistemine ait redüktörün giriş mili rulmanında tespit ettiğimiz arıza ve kestirimci bakım çalışması ele alınmıştır. PCI tesisinde 2 adet değirmen bulunmaktadır. Hammadde hatlarından gelen kömürler tesis içerisinde aktararak değirmen iç kısmına alınmaktadır. Değirmen iç kısmında kömürler öğütülerek toz haline getirilmektedir. Bu kömür tozu sonrasında filtrelenip her fırına ait olan enjeksiyon tanklarına alınmakta ve buralardan fırınlara gönderilmektedir. Fırınlarda ise yakma sırasında tüyerlerden fırın içerisine enjekte edilerek, metalurjik kok yakma maliyetlerini düşürmede kullanılmaktadır.

Değirmen içerisinde, sabit halde duran 3 adet öğütücü teker (roller) ile alt kısımda hareket eden tabla arasına alınan kömürler öğütülmektedir. Bu tabla, değirmenin alt kısmını komple kaplayan redüktör tarafından çevrilmektedir. Tablayı hareket ettiren SXJ-190 model redüktörün sadece giriş milinin dış kısmında kalan rulmanından portatif vibrasyon ölçüm cihazı ile periyodik olarak ölçüm alınabilmektedir. Diğer rulmanların ve redüktör içinin kontrolleri planlı duruş zamanlarında yapılmaktadır. PCI tesisi periyodik ölçüm rotası tesisdeki tüm redüktör ve fanların "Emerson AMS 2140" model ile vibrasyon ölçümünü kapsamaktadır. Daha sonra bu veriler kullandığımız cihaza ait olan "AMS Machinery Health Manager" programına aktararak analiz edilmektedir. Rulman arızası, planlı duruştan önce tespit edilerek duruş planına alınmış ve giriş mili rulmanı değişimi yapılmıştır. Yapılan bu kestirimci bakım uygulaması ile plansız bir duruşun önüne geçilerek, daha az maliyetle bakım yapılarak redüktörün komple arızalanması engellenmiştir.

Redüktör giriş mili rulmanı değişimi tarihinden itibaren yapılan tüm periyodik ölçümlerde, rulman sağlığının normal olduğu gözlenmiştir. Spektrum değerlerinde ise değirmende öğütülen kömüre yani sistem yüküne bağlı olarak farklılıklar olsa da genel olarak herhangi bir arıza durumu yoktur.

### 1. Giriş

Pulverize kömür enjeksiyon (PCI) tesisinde kısaca, fırınlarda yakma maliyetlerini düşürmek için kullanılan kömür tozu hazırlanmaktadır. Hammadde besleme hatlarından tesise alınan kömür, 2 adet dik değirmende öğütülüp filtrelenerek, her fırına ait olan enjeksiyon tanklarına alındıktan sonra buralardan fırınlara gönderilmektedir. "Periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirilerek ve titreşimlerin analiz edilmesi ile rulman hasarlarının kritik hale gelmeden önce belirlenmesi hedeflenmiştir" [1].

### 2. Deneysel Çalışmalar

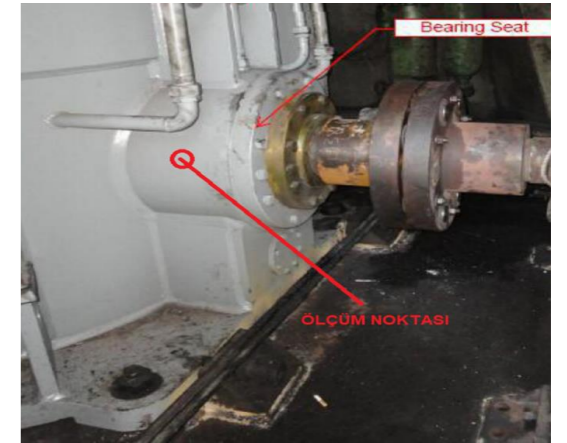
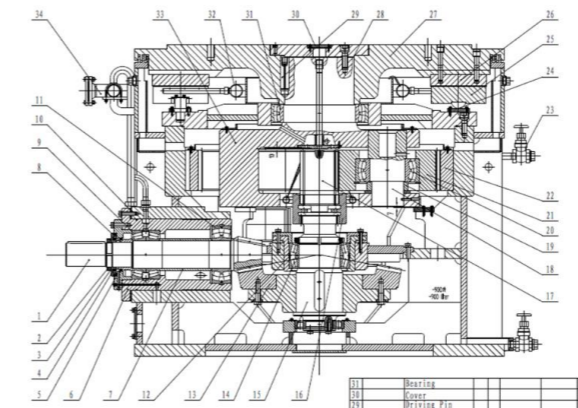
Arızanın ilk başlangıcı 28.07.2020 tarihinde görülmüştür ve periyodik ölçümlere devam edilmiştir.

#### 2.1. PCI Dik Değirmen

Tesiste 2 adet değirmen bulunmaktadır. Değirmen iç kısmında sabit haldeki 3 adet öğütücü teker ve alt kısımda dönen tabla arasına alınan kömürler öğütülerek toz haline getirilmektedir. Alt tabla, değirmenin alt kısmını komple kaplayan büyük bir redüktörden hareket almaktadır.

#### 2.2. PCI Dik Değirmen Redüktörü

Öğütücü tekerlerin (roller) alt kısmındaki tablayı hareket ettiren SXJ-190 model redüktörün sadece giriş milinin dış kısmında kalan rulmanından periyodik olarak ölçüm alınabilmektedir. Diğer rulmanların ve redüktör içinin kontrolleri planlı duruş zamanlarında yapılmaktadır. Şekil 1.'de gösterilen redüktörün 1 No.lu parçası giriş milidir ve hareketi kaplin ile elektrik motorundan almaktadır. 9 No.lu parça bu giriş milinin redüktör dışında kalan kısmında yer alan rulmandır ve ölçüm aldığımız nokta da burasıdır. Buradaki rulman, kullandığımız vibrasyon analiz cihazına tanımlanmıştır ve analizler de buna göre yapılmaktadır. Analizlerde hem spektrum hem de dalgaform grafikleri kullanılarak arıza teşhisleri yapılmaya çalışılmaktadır.



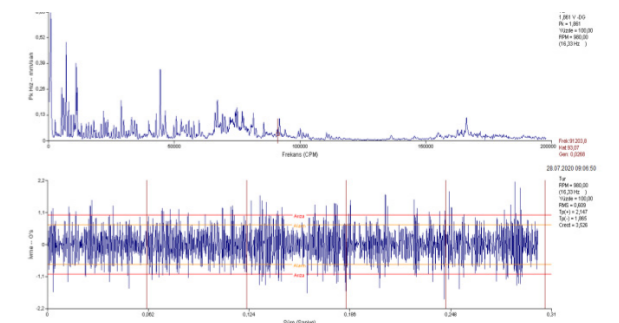
Resim 1. PCI değirmen redüktörü detayı

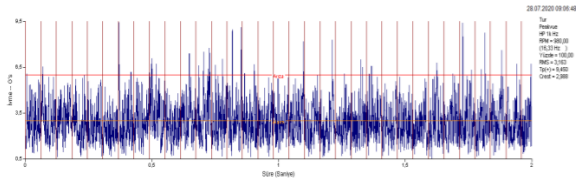
### 2.3. Rulman Arızasının Tespiti

Şekil 1.'teki üst spektrum, orta dalgaform ve alt peakvue grafikleridir. Peakvue, kullandığımız "Emerson AMS 2140" model cihaza ait olan ve rulman sağlığını takip edebildiğimiz bir teknolojidir. Örnek olarak göstermek gerekirse en alttaki grafikte rulman sağlığının alt turuncu sınır olan alarm sınırını geçmiş olması nedeniyle arıza durumuna gelmiştir.



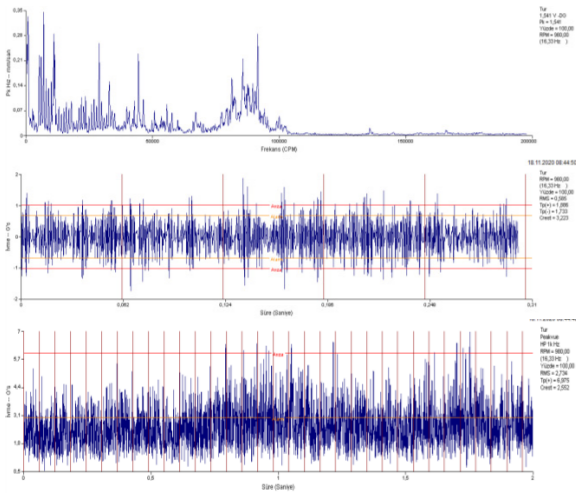
Resim 2. "Emerson AMS 2140" model portatif ölçüm cihazı [2]





Şekil 1. "Emerson AMS 2140" cihazı ve 28.07.2020 tarihine ait spektrum, dalgaform ve peakview grafikleri

Planlı bakım duruşundan önce alınan son ölçümde ise arızanın aynı şekilde devam ettiği görülmüştür. Arızanın özellikle en alt grafikte kritik sınıra yaklaşmış olduğu ve orta dalgaform grafiğinde rulman arıza desenlerinin oluşmaya başladığı görülmüştür.



Şekil 2. Planlı bakım duruşu öncesi alınan son ölçümlere ait grafikler

#### 2.4. Planlı Bakım Duruşunda Rulman Değişimi Yapılması

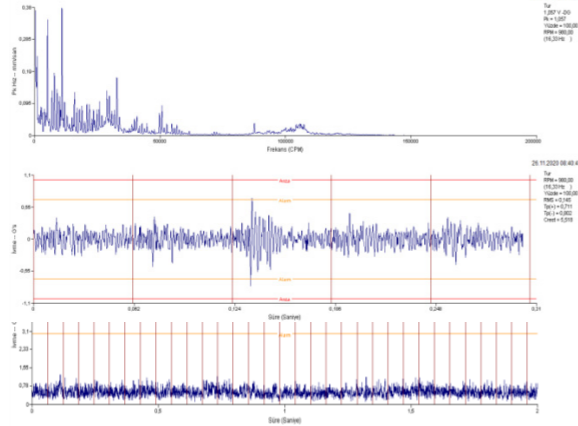
Bakım duruşunda redüktör giriş mili de montaj edilerek rulman değişimi yapılmıştır. Değişim sırasında eski rulman makaralarının arızalı olduğu görülmüştür.



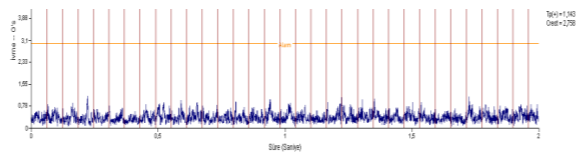
Resim 3. Redüktör giriş mili rulmanı değişimi ve redüktör eski rulmanı makaraları

#### 2.5. Rulman Değişimi Sonrası Yapılan Vibrasyon Ölçümleri

Planlı bakım sonrası alınan ölçümlerde değerlerin, özellikle rulman sağlığının normale döndüğü gözlenmiştir. Duruş sonrası alınan ölçüme ait değerler şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Planlı bakım duruşu sonrası alınan ilk ölçüm



Şekil 4. 06.12.2021 tarihli son ölçüme ait rulman sağlığı

Böylece kestirimci bakım yöntemi uygulanarak arıza oluşmadan aksiyon alınmıştır. Arızaya ve makine duruşuna sebep vermeden arıza kestirimci bakım ile önlenmiştir. "Makinelerin arızalarını tespit etmek değil, arızanın ortaya çıkmasını önlemektir. Proaktif yani önceden harekete geçme şeklinde uygulanan bu bakım türünde yöntem, arızaya sebep olabilecek nedenleri ortadan kaldırmaya dayanmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasıyla kestirimci bakımda olduğu gibi

makinelere ani duruşları azalacak, üretim ve verimlilik de artacaktır" [3].

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma ile değirmen redüktör rulman arızasının erken tespit edilmesi ile plansız bir duruşun, fırınların yakma maliyetlerini düşüren kömür tozunun üretiminin aksamaması nedeniyle yüksek maliyetlerin ve oluşabilecek bir plansız duruşla yüksek iş gücü ve zaman kayıplarının önüne geçilmiştir.

Vibrasyon ölçümlerine periyodik olarak devam edilmektedir. Bu çalışmayı hazırladığımız tarihte, yani 06.12.2021'de PCI tesisi turu yapılmıştır ve ölçüm aldığımız değirmen redüktör giriş mili rulman sağlığı hala normal durumdadır. Portatif "Emerson AMS 2140" model vibrasyon ölçüm cihazı ile alınan değerler daha sonra cihaza ait olan AMS Machinery Health Manager programına aktarılıp analiz edilerek, olası arızaların önüne geçilmektedir.

### Referanslar

- [1] Orhan, S., Hakan Arslan, H. ve Aktürk, N., (2003). "Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 18, No 2, 39-48, 2003, S:40.
- [2] AMS 2140 Machinery Health™ Analyzer, User Guide, MHM-97432, Rev 10, May 2019
- [3] Çimen, M., (2015). "Bilyeli Rulman Hasarlarının Titreşim Analizi İle Tespiti Ve Gemi Makinelerinde Kestirimci Bakım Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, S: 43



## Demir Çelik Tesislerinde Saha Varlıklarının Sınıflandırılmasının Önemi ve Uygulama Alanları

Importance of Assets' Classification for Iron and Steel Facilities & Application Areas

◆ **Hasan BULUT<sup>1</sup>, Merih YAMAN<sup>1</sup>, Gökçe ARSLAN<sup>1</sup>, Serkan KESKİ<sup>2</sup>, Ali KESKİN<sup>2</sup>, Mesut GÜNGÖR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye

### Abstract

As in every production facility, all systems and machines are expected to operate at the desired level in a sustainable, reliable and efficient manner in an integrated iron and steel production line. This situation can only be achieved with an effective asset management. Asset management is a very complex structure provided by the participation of many organizations and individuals. In this study, the importance of the assets' classification, which is one of the most important stages of asset management, and the effectiveness of the classification applications at the factory site will be discussed.

As in every operational application, effective use of limited resources in asset management is only possible by classifying equipment. Resources such as labor, time and materials will be allocated according to the classes of equipment, and in this way, optimum solutions will be created and desired results will be achieved. At the same time, all organizations will act with same approach. More importantly, effective management will be ensured and human dependency will be eliminated, since employee behavior is managed with a systematic approach depending on specific situation.

### 1. Giriş

Bir olayı veya bir süreci yönetmek için ölçülebilir kılınması gerekmektedir. Varlık yönetiminde de bu ölçümün en iyi yapma şekli bilgisayar destekli çalışmalar yapmakla mümkündür.

Günümüzde bilgisayar destekli varlık yönetimi için

piyasada çok sayıda hazır yazılım bulmak mümkündür. Ancak böyle hazır bir yazılımı alıp, şirketimize direkt olarak uygulamak çözüm olmamaktadır.

Yapılması gereken bakım yazılımını, şirket ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde kurgulamak ve hayata geçirmektir. Bu çalışmada, söz konusu yapılacaklar arasında bulunan varlıkların sınıflandırması ele alınacaktır.

### 2. Varlıkların Sınıflandırılması

Etkili bir bakım yönetim uygulamasında ilk yapılması gereken şirket saha varlıklarının ağaç yapısının oluşturulmasıdır. Bu yapıyı oluşturduktan sonrada varlıklar sınıflandırılır. Sınıflandırma, tüm şirket tarafından kabul edilen esaslara göre yapılmalı, oluşan varlık sınıfları tüm birimlerin iş yapış şekillerine yön verilmelidir.

#### a) Varlıkların Sınıflandırılma Metodu

Varlıkların yapısı oluşturulduktan sonra en önemli konuların başında bu varlıkların sınıflandırılması gelmektedir. Bir sistemdeki bazı bileşenler sistemin performansı açısından daha kritik bir öneme sahiptir. Söz konusu sistem teknik bir sistemin tümü veya bu sistemin alt parçaları olabilir. Alt parçaları ile birlikte binlerce, yüz binlerce ekipman olan bir fabrikada tüm ekipmanlara koruyucu bakım görevi atanması, gereğinden fazla kaynak ihtiyacını ve kaynakların doğru kullanılmadığı bir programı beraberinde getirir. Yerinde yapılmış bir sınıflandırma çalışması ile şirket iş önceliklendirme, stok optimizasyonu, iyileştirme planları için odaklanması gereken noktaları en etkin bir şekilde kişilerden bağımsız olarak yapabilir konumda olacaktır. Daha da önemlisi sınırlı kaynakların en etkin şekilde kullanımına olanak tanıyacaktır.

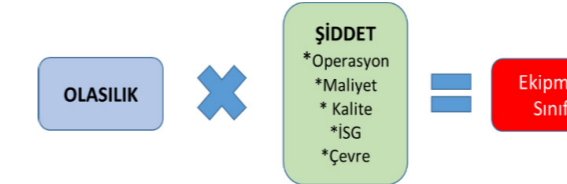
Buradaki sınıflandırmadan kasıt şirket için bir sistem, makina veya ekipmanın önem derecesidir. Örneğin varlıklar

- Kritik
- Önemli
- Normal

varlıklar olarak sınıflandırılabilir.

Varlıkların sınıflandırılmasının hangi parametrelere göre olacağını önceden belirlemek ve mümkünse yazılım içerisine yerleştirmek çok önemlidir. Verilen her parametrenin yine tanımının etkin yapılması ve yayılımının sağlanması önemlidir. Yazılımın zaman içerisinde bu sınıflandırmaları güncellemesi tam da istenen bir durumdur. Bu çalışmalara varlık yönetiminden sorumlu tüm birimlerin katılımı olmazsa olmaz bir kabul olarak benimsenmelidir. Gerekli noktalarda İş Sağlığı ve Güvenliği, Çevre Birimleri, Kalite birimlerinden de destek alınmalıdır.

Özellikle ekipmanların risk merkezli olarak sınıflandırılması daha dinamik bir yapı ortaya koyacaktır. Her ekipman *olasılık x şiddet* matrisinde yerine konularak uygun sınıfı seçilecektir. Burada olasılığın da hesaplamada kullanılması ekipmanlarımızı risk durumuna göre sınıflandırmayı sağlayacaktır ki bu durum hedeflenen uygunluk seviyesidir.



ÇEVRE	OLASILIK					
	1	2	3	4	5	
ŞİDDET	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	9	10	11
	3	8	12	13	14	15
	4	16	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

Varlık sınıflandırmada her boyut ayrı ayrı incelenip, en son olarak konsolide bir değer oluşturulmalıdır.

VARIK TANIMI	SİDDET	KİTİKLİK					BAKIM YAKLAŞIMI
		1	2	3	4	5	
İşletme	1	1	2	3	4	5	Yüksek
İşletme	2	6	7	9	10	11	Orta
İşletme	3	8	12	13	14	15	Düşük
İşletme	4	16	17	18	19	20	Yüksek
İşletme	5	21	22	23	24	25	Orta

### b) Varlık Sınıflarının Kullanımı

Yapılan bu sınıflandırma çalışmalarını nerelerde kullanılacağı maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

#### i. + Kök Neden Çalışmaları:

İşletme faaliyetleri esnasında çok miktarda arıza faaliyetleri oluşmaktadır. Bu arızaların tamamına eğilerek kök neden analizi yapmak oldukça zahmetli, çoğunlukla fayda-maliyet analizi yaptığımızda da çoğunlukla gereksizdir. Bunun yerine işletme sahasında özellikle kritik ve önemli ekipmanların arızalarına yoğunlaşmak, bu ekipmanlar üzerinde meydana gelen arızaların tekrarını önlemek için odaklanmak oldukça mantıklı bir seçim olacaktır. Hatta burada da seçim yapabilmek son derece önemli olan işgücü kullanımını daha da verimli hale getirecektir. İşletmelerimiz için kritik ve önemli olan ekipmanların arıza frekansları ve arıza giderme süreleri dikkate alarak odaklanmanız gereken arızaları çok daha etkin tespit edilebilir. Burada bu tip analizleri kullanıcı yerine, sistemlerden otomatik olarak alınmasını sağlamanız ekstra analiz yapma durumunda kalınmayacaktır. Daha da önemlisi kişiye bağımlılığı ortadan kaldıracak, bir şekilde gözden kaçma durumlarının önüne geçilebilecektir.

#### ii. Varlıkların Koruyucu Bakım Planlamaları:

Sürdürülebilir ve güvenilir bir üretim tesisi için varlıklarımıza koruyucu bakım yapmak olmazsa olmaz işletme zorunluluklarından. Bu kapsamda bakım birimleri sahada tüm ekipmanlar için koruyucu bakım tanımlamaları yapmaktadırlar. Burada ekipmanların sınıflandırıldığı bir işletmede etkin koruyucu bakım tanımlamalarından bahsedilebilir. Bu şekilde ekipmanın kritiklik durumuna göre uygulanacak koruyucu bakım yaklaşımını da kolaylıkla sınıflandırma ve tanımlama imkanına sahip olunmaktadır. Kritik ekipmanların mutlaka online izlenebilirliğinin sağlanmasını zorunlu hale getirmek bir örnektir.

#### iii. Yedek Yönetim Çalışmaları:

Etkin bakım yönetimi, aynı derece de etkin yedek yönetimi ile mümkündür. Günümüzde birçok firma benimsediği stok politikasını tüm yedek parçalar için uygulamaktadır. Ancak kritikliği, belirliliği, talep yapısı ve parçaların değeri gibi ayrı parametre değerleri olan yedeklere aynı politikanın uygulanması maliyet artışı ve üretim kaybı gibi problemlere yol açmaktadır. Bu parçaları ayrı ayrı incelemek, parametreleri belirleyip formülize etmek ve buna göre düzenlemek maliyetleri büyük ölçüde azaltabilir. Çoğu işletme de yedeklerin belirlenmesi, min. stok miktarlarının tespiti, depolanması gibi konular çok komplike çalışmalardır. Burada ekipmanların sınıflandırılmasının firmaya çok etkin kazanımları olacaktır. Hangi yedeklerin bulundurulması, miktarlarının tespiti gibi konularda ekipman sınıflandırılmasından kolaylıkla faydalanılabilmektedir. Bir sonraki düzeyde yedek parçalar da tıpkı ekipmanların sınıflandırıldığı gibi sınıflandırılarak, şirket için önemli olan yedekleri özel statüde takip etme imkanı bulunmaktadır.

Burada bir konuya da açıklık getirmekte fayda vardır. Çoğunlukla kritik ekipman ile kritik yedek kavramları birbiri ile karıştırılmaktadır. Sadece kritik ekipmanları belirlemek maalesef yeterli değildir. Özellikle hat üretimlerinde, hatta bulunan tüm malzemelerin yedek sınıfının belirlenmesi zorunludur. Örneğin, bir makinanın arıza giderme sürelerini dikkate alındığımızda, makina normal ekipman olabilir. Yedek parçaları olmadığında ise işletme için çok kritik bir duruma gelebilir.

#### iv. Görsel Fabrika Uygulamaları:

Binlerce ekipmanın olduğu bir işletme sahasında, kritik ekipmanların görsel olarak belirgin hale getirilmesi operasyonel faaliyetlerdeki hassasiyetin gözetilmesi için önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapacağımız sınıflandırma çalışmaları sonrası kritik ve önemli ekipmanları şirketteki her çalışanın anlayabileceği düzeyde görünür kılmamız önemli kazanımlar sağlayacaktır.

#### v. İş Önceliklendirmesi:

Her süreçte olduğu gibi saha varlıklarının yönetim süreci de sınırsız kaynaklarla yapılmamaktadır. Var olan kaynakların en etkin seviyede kullanılması hayati önem arz etmektedir. Ekipmanların sınıflandırılması ile iş havuzu içerisindeki hangi işin öncelikle yapılması gerekliliğine her çalışan kolaylıkla karar verebilecektir.

Klasik ekipman sınıflandırmalarına ilave olarak, ekipmanlara ait yasal, seveso kritik vb. özel durumları da iş önceliklendirme sistemi içerisinde dahil edilmesi çok daha başarılı bir ortam yaratacaktır. Bu önceliklendirmeyi kişilerden bağımsız olarak sistem üzerinden yapılması, çoğunlukla operasyonel faaliyetleri yapan mavi yaka çalışanlarımızın işlerini oldukça kolaylaştıracaktır.

#### vi. Satın Alma Süreçleri:

Yine işletme için kritik ve önemli ekipmanlar ile bu ekipmanlara yapılacak her türlü satın alma süreçlerinde öncelik tanınması kuşkusuz daha sürdürülebilir bir yapı oluşmasına katkı sağlayacaktır. Bu sınıfa giren ekipman yedeklerinin daha hızlı alınması, kalitenin ön planda tutulması, stok alanında özel korumaya alınması ilk etapta söylenebilecek ana başlıklardır.

### 3. Sonuç

Sınırlı kaynaklarla etkin varlık yönetimi araçlarından en önemlisi, varlıkların şirket önceliklerine göre sınıflandırılmasıdır. Özellikle risk merkezli olarak ekipmanların sınıflandırılması, yapacağınız her türlü operasyonel ve idari faaliyetlerde size kılavuzluk edecektir. Varlıkların sınıflandırılması etkin bakım programı oluşturulmasında kilit rol oynamaktadır. Dikkatli oluşturulmamış bir sınıflandırma analiz formatı etkinleştirilmesi istenilen koruyucu bakım programının hatalı olmasına veya gözden kaçırılan ekipmanlar ile tesis güvenliğinin tehlikeye

atılmasına neden olabilir.

#### Referanslar

[1] IBM Maximo yazılımı

## Salamander Delme Pozisyonu ve Salamanderin Torpedoya Alınması Tasarımı

### Salamander Drilling Position and Salamander Runner Design Charging into Torpedo Car



Veysel ÇELİK<sup>1</sup>, Kâmil EKEN<sup>2</sup>, Osman FİDAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erdemir Mühendislik, <sup>2</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

In this study, a design was made for the discharging of liquid iron remaining in the bottom of the furnace into torpedo car before the İsdemir 4th blast furnace Heart refractory repair. In traditional methods, for the removal of liquid iron from the furnace, a drilling point (Salamander hole point) was determined in the furnace body in accordance with the internal condition and general construction of the furnace, and the liquid iron was taken into the refractory pool system prepared on the ground level. In the new design, according to the inner condition of the furnace, the general structure of furnace and the elevation of the salamander hole are evaluated and liquid iron is tapped directly into the torpedo car (liquid iron transport wagon). This new method is different from the traditional method, although the liquid iron, which is taken to the ground, is removed from the refractory pool after cooling, transported and the cooled iron is used as scrap; In the new design, the advantage of being directly used in steel production without the need for the additional costs of the traditional method is provided. In addition, occupational safety problems that may arise from the pouring of liquid iron in the refractory pool have also been eliminated.

#### Özet

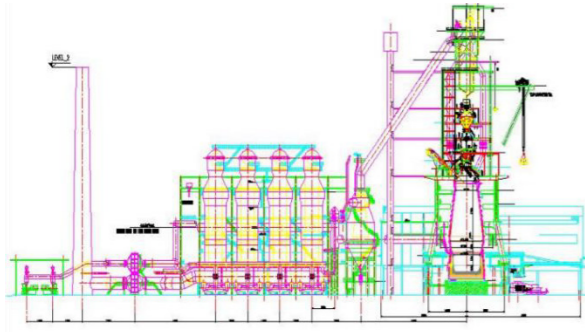
Bu çalışmada, İsdemir 4. yüksek fırın [1] (Şekil 1) hazne tamiri öncesi fırın içerisinde, tabanda kalan Sıvı Ham Demirin(SHD) torpedoya alımı için tasarım yapılmıştır. Geleneksel yöntemlerde SHD'nin fırın dışına alımı için fırın gövdesinde fırının iç durumu ve genel konstrüksiyonuna uygun olarak bir delme noktası(Salamander deliği noktası) belirlenip bu sıvı ham demir sıfır kotu zemin üzerinde hazırlanmış havuz sistemi içerisine alınır. Yeni tasarımda, fırın iç durumuna göre, genel konstrüksiyon ve salamander deliği kot yükseklikleri hesaplanarak doğrudan torpedo(SHD taşıma vagonu) içerisine alınması sağlanmıştır. Bu yeni yöntem geleneksel yöntemden farklı olarak zemine alınan SHD'nin soğuması sonrası havuz

içerisinden kaldırılması, taşınması ve soğuyan pikin hurda olarak kullanılmasına karşı; yeni tasarımda doğrudan torpedo içerisine alınan SHD geleneksel yöntemdeki ilave maliyetlere gerek kalmadan doğrudan çelik üretiminde kullanılabilme avantajı sağlanmıştır. Ayrıca SHD'nin havuz içerisine alınmasından kaynaklanabilecek iş güvenliği sorunları da ortadan kaldırılmıştır.

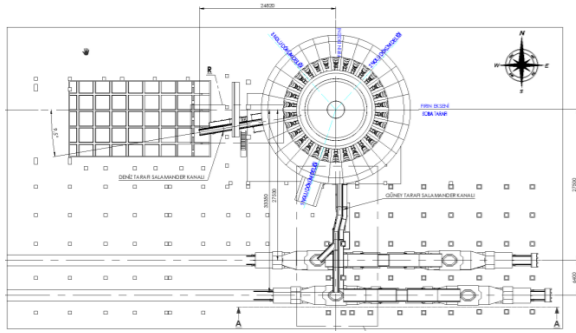
#### 1. Giriş

İşletmemizde 4. Yüksek fırın(Şekil 1) hazne tamirati kararı alınmasının ardından sürecin en önemli adımlarından biri olan salamander alımı operasyonu için projelendirmeye başlanmıştır. Salamander alım operasyonu için Erdemir mühendislik tasarım ekibi ve İsdemir İşletme ekibi birlikte çalışmışlardır.

Yüksek fırın boş durdurma operasyonu sonrasında fırın haznesinde kalan sıvı ham demirin boşaltılması operasyonuna "salamander alımı" adı verilmektedir. Yüksek fırının hazne aşınma durumu incelenerek salamander alımı operasyonu için uygun noktalar belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalardan fırın haznesine ulaşan delikler açılarak inşa edilen harici kanallara üzerinden haznede kalan eriyik malzemenin torpedolara veya zeminde hazırlanan refrakter kum havuzlarına alınması planlanmıştır. Salamander alım bölgeleri için alt(Deniz tarafı-Şekil 2) ve üst(Güney tarafı-Şekil 2) salamander deliği olmak üzere iki adet delik delinmesi kararlaştırılmıştır[2].



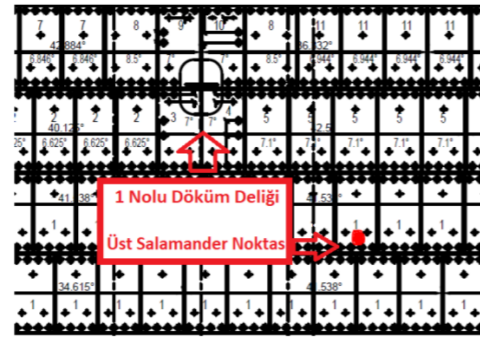
Şekil 1. 4.Yüksek Fırın.



Şekil 2. Salamander Alım Bölgeleri.

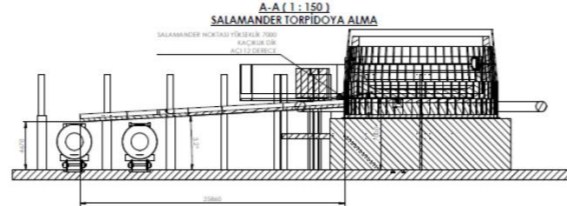
## 2. Salamander Alım Operasyonu

Salamander delme noktalarının tayin edilmesinde ilk olarak yüksek fırın hazne aşınma profilleri incelenmiş olup hazne thermocoupleların sağlıklı veri üretememesinden dolayı 4. Yüksek fırın haznesi durumu hakkında bir aşınma profili oluşturulmamıştır. Haznede yer alan stove soğutucu projeleri incelendiğinde ise 4. Yüksek fırın tasarımı yapılırken salamander alım noktalarının tayin edilmediği ve stove soğutucu tasarımlarının buna uygun şekilde yapılmadığı görülmüştür. Bu durumlar karşısında 4. yüksek fırın çevresi ve dökümhane altı bölgeleri etüt edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında yüksek fırın üzerinde iki bölge tayin edilerek salamanderin öncelikli olarak hem torpedoya hem de alternatif olarak yer zemini üzerine inşa edilecek olan kum havuzlarına alınması kararı alınmıştır. Fırın haznesinde olabilecek en fazla SHD miktarı yaklaşık olarak 1200 ton olarak hesaplanmıştır. İşletmemizde kullanılan her bir torpedonun SHD kapasitesi 320 tondur. En fazla olabilecek SHD miktarına göre fırın altında bulundurulacak torpedo sayısı 4 adet olarak belirlenmiştir. 4. Yüksek fırın salamander alımının iki ayrı noktadan yapılması kararı alınmasının ardından salamander operasyonu hazırlıkları "alt salamander" ve "üst salamander" olmak üzere iki ayrı koldan yürütülmüştür. Alt salamander alımının yer zemini üzerine yapılan kum havuzlarına, üst salamander alımının ise demiryolu üzerindeki torpedoya alınacak şekilde yapılması kararı alınmış ve çalışmalara bu kapsamlarda devam edilmiştir.



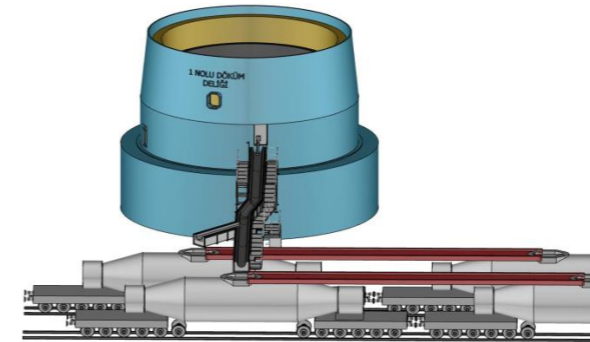
Şekil 3. Üst Salamander (Stave Soğutucular).

Üst salamander operasyonu mühendislik çalışmaları Erdemir mühendislik tasarım ekibi ve İsdemir fırın işletme ekibi birlikte çalışarak 7195 kotu 2. sıra stove soğutucu grubu 14 nolu stove soğutucu 54 ve 55 numaralı serpantinlerin orta noktasına denk gelen bölge seçilmiştir. Bu operasyonda karot makinesiyle yatay ekseninde 15 derece eğim ile fırın haznesine doğru delik açılarak salamander alım operasyonunun gerçekleştirilmesi kararı alınmıştır (Şekil 3 ve 8).



Şekil 4. Üst Salamander Alma Bölgesi.

Salamander noktalarının ve açıklarının tayin edilmesinin ardından salamander alımı için diğer gerekli hazırlıklara başlanmıştır. Bu hazırlıklar kapsamında Erdemir Mühendislik Ekibi tarafından sıvı ham demirin içerisinden akarak üst salamander noktasında torpedoya (Şekil 4, 5 ve 6), alt salamander noktasında ise kum havuzlarına akacağı salamander kanallarının ve havuzun tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tamamlanan tasarımların imalat işlemleri çelik konstrüksiyon ve refrakter atelyelerince gerçekleştirilmiştir. İmal edilen salamander kanallarına refrakter uygulaması yapılmıştır. Çelik konstrüksiyon kanalın içi püskürtme emniyet astarı ve emniyet astarı üzerine normal kanal betonu ile kaplanarak refrakter uygulaması yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Üst Salamander Kanalı Torpedoya Alım.



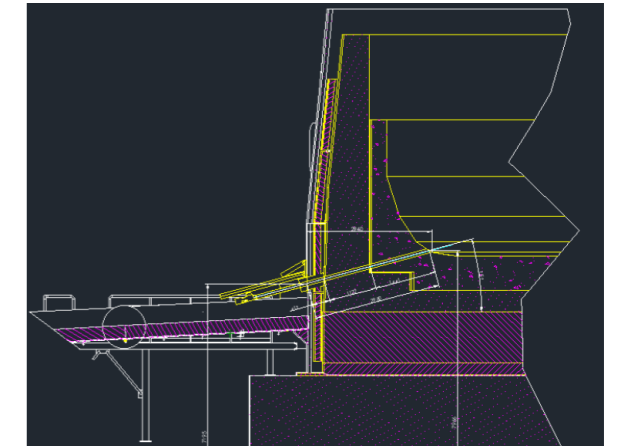
Şekil 6. Üst Salamander Kanalı ve Refrakter Kurutma.

Yüksek fırınlarda boş durdurma işlemi tamamlandıktan sonra yüksek fırın haznesinde kalan sıvı ham demir ve cürufun katılaşmaya başlamadan önce en hızlı şekilde salamander operasyonu ile hazne içerisinden dışarıya alınması gerekmektedir. Bu sürecin hızlandırılması adına 4.Yüksek Fırın salamander alımı sırasında salamander noktaları için özel nozul (Şekil 7) tasarımı, imali ve montajı yapılmıştır.



Şekil 7. Üst Salamander Kanalı Nozul ve Matkap Montajı.

Salamander delme işlemi için fırın içi refrakter yapısı ve aşınma durumuna göre matkap delme açısı (Şekil 8) belirlenmiştir. Bu belirlenen açığa göre salamander deliği açılmıştır.



Şekil 8. Üst Salamander Matkap Açığı ve Delme Mesafesi.

Bu açı ile fırın hazne içerisine ulaşmak için gerekli delme mesafesinde (Şekil 8) tespit edilmiştir. Bu tespit edilen delme mesafesine göre kontrollü delme işlemi (Şekil 9) için çıkan parçaların üzerinden ölçü kontrolü de ayrıca yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. Üst Salamander Matkap İle Delme İşlemi.



Şekil 10. Üst Salamander Matkap Karotu.

Matkapla delme işlemi sıcaklığın 350-400°C'e ulaşması durumunda veya sıcaklık bu seviyelere ulaşmadığı ve fırın içi karbon tuğla delme işleminin tamamlanması durumunda oksijen ile delme işlemine geçilerek sıvı ham demir akışına kadar işleme devam edilmiştir(Şekil 11).



Şekil 11. Üst Salamander Oksijen Vurma İşlemi.

Üst salamander noktasından salamander kanalına sıvı ham demir akışı başlamasıyla(Şekil 12) 1.tren yolunda hazır bekleyen birinci sıradaki torpedoya sıvı maden alımı başlar(Şekil 13). Bu torpedonun doldurulması sonrası torpedolar arası sıvı akışını engellemeden geçişi sağlayan platform yardımı ile torpedo katarı hareket ettirilerek ikinci sıradaki torpedoya akış başlatılmıştır. İkinci torpedo sıvı maden dolununun tamamlanmasına yakın 2.tren yolu birinci sıradaki torpedoya maden alımı için hazırlıklar yapılmıştır. Fakat bir süre sonra yüksek fırından sıvı ham demir akışı kesilmiştir. Salamander alımı operasyonu sonunda toplam 455 ton sıvı ham demir iki torpedoya alımı yapılarak süreç tamamlanmıştır. Her ihtimale karşı eriyik malzeme akışı kesildikten sonra üst salamander noktasına

oksijen vurulmaya devam edilmiştir. Bu işlem sonunda herhangi bir eriyik gelmemesi ile işleme son verilmiştir.



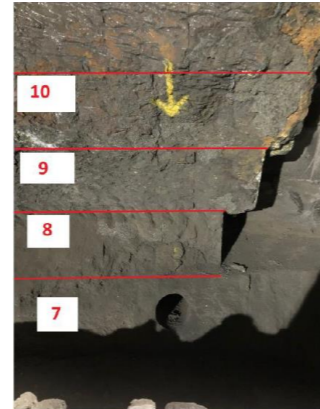
Şekil 12. Üst Salamander Sıvı Ham Demir Akışı.



Şekil 13. Torpedoya Sıvı Ham Demir Akışı.

### 3. Sonuç

Yüksek fırın boş durdurma operasyonu sonrasında fırın haznesinde kalan SHD'nin fırın dışında torpedoya alınması operasyonu Türkiye'de ve işletmemizde ilk defa uygulanmıştır. Bu yeni tasarımda, fırın iç durumu, genel konstrüksiyon ve salamander deliği kot yükseklikleri torpedoya göre değerlendirilerek, kanallar ile torpedo(SHD taşıma vagonu) içerisine alınması sağlanmıştır.



Şekil 14. Üst Salamander Deliğinin Fırın İçerisindeki Çıkış Noktasının Görünümü

Salamander delme ve torpedoya alma operasyonunda belirlenen delme nokta ve açıda yapılan işlem sonucunda istenilen çıkış noktasına(Şekil 14) ulaşılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu yeni yöntem diğer yöntemlerden farklı olarak

1. Torpedo SHD kapasitesinin fazla olmasından dolayı Operasyonel kolaylık sağlaması,
2. SHD'nin torpedoya alınması ile ilave maliyetlere gerek kalmadan doğrudan çelik üretiminde kullanılabilme avantajı sağlaması,
3. SHD'nin havuz içerisine alınması ve sonrasında gereken Operasyonel maliyetlerden kaçınılmıştır.
4. Ayrıca SHD'nin açık havuz içerisine alınmasından kaynaklanabilecek iş güvenliği sorunları da ortadan kaldırılmıştır.

### Teşekkür

Bu çalışmada emeği geçen Erdemir mühendislik ve İsdemir yönetici ve çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

### Referanslar

- [1] Çelik, V. ve Fidan, O., (2021)." 4.YF Atık Isı Eşanjörü İyileştirme", 6nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'21), November 26-27-28, 2021, Cappadocia /TURKEY, s: 151
- [2] Ho C., WU J. And KO Y., China Steel Technical Report, 32 (2019) 12-18.

## Kütük Döküm Makinaları Ara Tüp Merkezleme Pozisyon Tespitinin Görüntü İşleme Teknolojisi ile Gerçekleştirilmesi

Centering the Ladle Shroud Position of Billet Casting Machines with Help of Image Processing Technology



Esra KÜPELİ, Mahir Ünal BAKİ

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Digitalization in iron-steel integrated facilities is rapidly becoming widespread around the world. Reducing the human fault factor in the factory help of the use of new technologies are major importance for integrated facilities such as İskenderun Iron&Steel Co (İSDEMİR) to continue their production speed. In the billet casting machines, the steel is flowing thanks to the ladle shroud than firstly hit the tundish impact pad, which is mounted inside the tundish. The tundish impact pad is used in the tundish base to prevent mechanical abrasion of the steel. Due to the damage the centering of the ladle turret, or the staff's inability to centrally mounted the ladle shroud, the steel may hit the out of the tundish impact pad. This case, especially in the open casting process, erodes the base of the tundish during the casting and can eventually cause it to puncture. Process accidents sometimes can occur in factories. At the result of this researching, centering the ladle shroud has been started to be tracked online by using image processing technology. Images are processed thanks to two cameras positioned at different angles, if the ladle shroud position goes out of the determined limits, it also gave a warning and provided the personnel to take corrective action.

### Özet

Demir-çelik entegre tesislerinde dijitalizasyon dünya genelinde hızla yaygınlaştırılmaktadır. Yeni teknolojilerin kullanımı ile birlikte sahada personele bağlı hata faktörünün azaltılması, İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İSDEMİR) gibi entegre tesislerin üretim temposunu devam ettirmesi için büyük önem arz etmektedir. Kütük döküm makinalarında ara tüpten tandişe alınan çelik ilk olarak tandiş içerisinde montajlı şekilde bulunan çarpma plakasına vurulmaktadır. Çarpma plakası tandiş tabanında çeliğin mekanik olarak gerçekleştireceği aşınmanın önüne geçmek için kullanılmaktadır. Potanın bulunduğu taretin

merkezlemesinin zamanla bozulması ve/veya personelin ara tüpü manipülator yardımı ile merkezli montaj edememesi nedeni ile çelik çarpma plakası dışına çarpabilmektedir. Bu durumda özellikle açık döküm prosesinde uzayan döküm süresi boyunca sıvı çelik tandiş tabanını aşındırmakta ve sonuç olarak delinmesine neden olabilmektedir. Tesislerde zaman zaman bu şekilde proses kazaları gerçekleşebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile, ara tüp merkezlemesi görüntü işleme teknolojisi kullanılarak bilgisayar ortamında online olarak takip edilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda farklı açılarda konumlandırılmış 2 adet kameradan elde edilen görüntüler işlenmiş olup ara tüp pozisyonunun belirlenen sınırların dışına çıkması durumunda da uyarı vererek personelin düzeltme işlemini yapması sağlanmıştır.

### 1. Giriş

Sürekli Döküm Makinalarında dökümü devam eden ve döküme girecek olan potalar mevcut olan taret sisteminde konumlanmaktadır. Taret, iki pota taşıma kapasitesine sahip ve 360° dönebilen bir yapıdır. Kollarında bulunan potalardan biri döküm pozisyonunda iken diğeri yükleme pozisyonundadır. Döküm süreci tamamlanan pota kapatılır, taret 180° döner ve yükleme pozisyonunda bulunan pota döküme alınarak proses devam etmektedir. Şekil 1 de gösterilmiştir. Döküm pozisyonunda olan potaya ait sürgü mekanizmasının bir elemanı olan dış nozula, döküme giren her pota açılmadan önce ara tüp montajı yapılmaktadır.



Şekil 1. Döküm ve Yükleme Pozisyonunda Pota Taşıyan Taret Sistemi

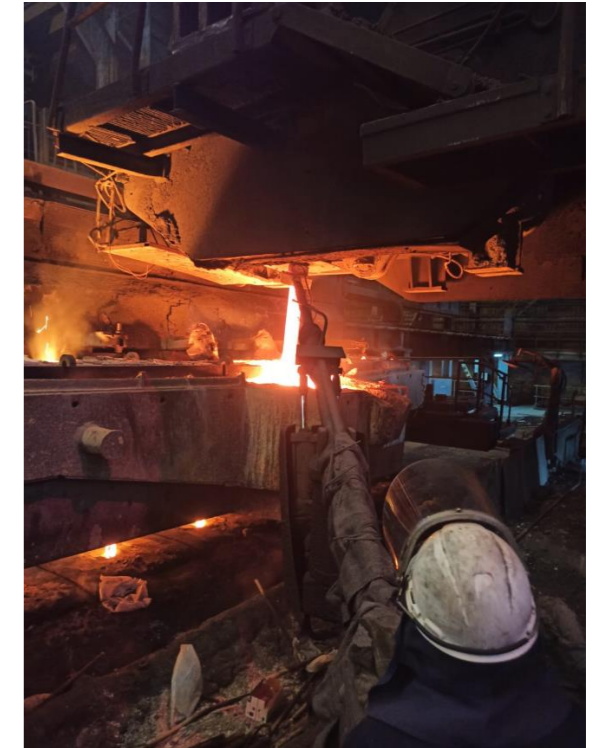
Şekil 2'de gösterilen ara tüp, potadan akan çeliğin hava ile temasını keserek tandiş içerisindeki çeliğin akış dinamiğini sistematik hale getirmektedir. Refrakter malzemeden üretilen ara tüp, çeliğin havada bulunan oksijen, azot ve hidrojen gibi elementler ile etkileşime girerek oluşabilecek kalite ve dökülebilirlik problemlerinin önüne geçmek için kullanılır. Kullanılan ara tüpten akan çelik kalıplara alınarak katılaştırılma işlemi yapılmadan önce başka bir ara eleman olan tandişe alınmaktadır. Pota değişimleri sırasında üretimin devamlılığı tandişte bulunan çelik ile sağlanmaktadır.



Şekil 2. Dökümde Kullanılan Ara Tüp

Sürekli döküm prosesi devam ederken çeliğin kalıplarda katılaşmasına kadar uzanan aşamalarında pota-ara tüp-tandiş sıralaması izlenmektedir. Tandiş döküm pozisyonunda sabit kalır iken dökümün devamında açılan her potada taret dönmekte ve ara tüp demonte edilerek yeniden montaj edilmektedir. Ara tüp montajı Şekil 3 de gösterildiği üzere

manipülator ile yapılmaktadır. Tekrarlanan tüm bu aşamalarda taretin dönüş sonrası ve ara tüpün montaj sonrası merkezli olması gerekmektedir. Ara tüpün merkezli olması, çelik akışının tandiş içerisine yerleştirilen çarpma plakasına denk gelmesi için elzemdir. Tandişlerde çarpma plakası dışında çarpma havuzları da kullanılabilir. Bahse konu çarpma plakası, ara tüp ucundan akan çeliğin tandişin tabanında yarattığı fiziksel aşınmayı minimize etmek için kullanılmaktadır. Döküm sırasında merkezlemesi kayan ara tüp nedeni ile çarpma plakası dışına çıkan çelik akışı, tandiş tabanını sürekli aşındırmakta ve en sonunda tandişin delinmesi sonucuna kadar gidebilmektedir. Bu durumda ise öncelikle tandiş delinmesi sonucu oluşan İSG riski ve proses kazası kaynaklı üretim kayıpları yaşanabilmektedir. Ara tüpün merkezli olmaması nedenleri arasında taretin merkezli olmaması, potacı personelin ara tüpü merkezli monte etmemesi, ara tüpün montajında kullanılan manipülator arızaları vb. durumlar gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında dökümün başlatılması, yeni potanın açılması ve döküm süresince ara tüpün merkezli olmasının görüntü işleme tekniği kullanılarak takip edilmesi üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3. Döküm Personeli Manipülator ile Ara Tüp Montajı

Çalışmaya başlamadan önce, kütük makinasında ara tüp pozisyonu için yapılan görüntü işleme çalışmaları incelenmiştir [1].

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Sahada Yapılan Ön Çalışmalar

#### 2.1.1 Ara Tüp Sapma Açısının Hesaplanması

Ara tüpün pota dış nozuluna manipülatör ile montajından sonra merkezlemesinin çarpma plakası veya çarpma havuzu dışına gelmesinin açısal olarak tespitinin yapılması amacı ile boş pota tarete alınmıştır. Alınan boş potaya ara tüp montajı yapılmış ve gerçek döküm durumu simüle edilmiştir. Ara tüp merkezi ve denk gelmesi gereken bölge ölçümü yapılarak sapma açısı belirlenmiştir.

Ara tüpün pota bağlantı noktasından zemine kadar olan uzunluk ölçüsü ve çarpma plakası uzunluk ölçüsü üzerinden hesaplama yapılarak ara tüp merkezinin sapabileceği maksimum açı ölçüsünün ( $\alpha$ )  $4,5^\circ$  olması gerektiği tespit edilmiştir. Hesaplanan sapma açısına ait çalışma Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Aratüp Sapma Açısı Maksimum Değerinin Hesaplanması

#### 2.1.2 Kamera Görüntülerinin Elde Edilmesi

Görüntü işleme çalışmalarında, görüntünün uygun cihazlardan ideal şartlarda alınması en önemli adımlardan biridir. Bu amaçla kütük makinası işletme sahasında fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Saha incelemesinde hangi özellikte kamera kullanılacağına, kaç adet kamera kullanılacağına ve kameraların montaj edileceği konuma

karar verilmiştir. Ara tüpe farklı açılardan konumlandırılmış ve aynı özellikte seçilmiş 2 adet kamera kullanılmıştır

Döküm boyunca kamera görüntüleri takip edildiğinde çevre şartlarının değişken olduğu gözlemlenmiştir. Açık-kapalı döküm boyunca işletme şartları ve çevresel şartlar ortam ışığının değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Ortam değişkenleri, görüntü işleme çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden öncelikle kameranın kendi görüntü ayarlarında ışık, keskinlik, parlaklık ve bazı özel ayarları değiştirilerek en ideal kamera görüntü ayarları elde edilmeye çalışılmıştır. Fakat kamera ayarları üzerinde yapılan değişiklik yeterli olmayıp görüntülerin yazılımda ön işleme aşamalarından geçirilmesi gerekmektedir.

### 2.2. Görüntü İşleme Yazılımı

Görüntü işleme, görüntü verilerini dijital ortamda uygun şekilde değiştirmeye yarayan bir çalışmadır. 1920'li yıllarda ortaya çıkan görüntü işleme yöntemleri video veya fotoğraf görüntüleri üzerinde değişiklik yapmak, iyileştirmek ya da anlamlı bilgiler oluşturulmak için kullanılmaktadır [2]. Görüntü işlemeyle ilgili standart yöntemler olmakla birlikte bu yöntemlerin haricinde geliştirilen hazır kütüphaneler de bulunmaktadır. OpenCV ve AForge.NET bu kütüphanelerden bazıları olup yapılan işlemlerin daha hızlı bir şekilde ve daha az komut satırıyla yapılabilmesi sağlanmaktadır [3]. Ara tüp merkezleme pozisyon tespiti için gerçekleştirilen uygulama .NET ortamında C# programlama dili ile EmguCV kütüphanesi kullanılarak yazılmıştır. Yazılım içerisinde kamera görüntülerine RTSP haberleşme protokolü üzerinden kullanıcı adı ve şifre ile erişim sağlanmıştır. Elde edilen görüntüdeki filtreleme ve gürültünün azaltılması amacıyla Gauss Filtreleme uygulanmıştır. Gürültülerin azaltılması için, görüntü **Binary** (siyah-beyaz) dönüştürme yapılmıştır. Resim üzerinde **Morfolojik** dönüşümler yapılarak küçük gürültüler elimine edilmiştir. Kenar tespiti için **Canny** kenar bulma yöntemi kullanılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Ara tüp merkezleme açısının tespit edilmesi için kenarlardan en az birinin tespit edilmesi yeterlidir. Çünkü tüpün kenarları birbirine paralel olup, paralel kenarlar arasında açı farkı yoktur.

Hesaplanan açının doğrulanması için algoritma döküm anında ve döküm olmadığı zamanda gözle görülür şekilde açıyı belirli olan bazı alan kenarları üzerinde test edilmiştir. Şekil 5'de döküm esnasında ara tüp demontaj iken tespit edilen bir kısım kenar üzerinde algoritma test edilmiştir. Modelin hesapladığı açı  $88,52^\circ$  olup, bu değer tespit edilen kenarların sahip olduğu açının ortalamasıdır. Şekil 6'da da benzer şekilde döküm yok iken tespit edilen bir kısım kenar üzerinde algoritma test edilmiştir. Modelin hesapladığı açı

$89,01^\circ$  olup, bu değer tespit edilen kenarların sahip olduğu açının ortalamasıdır.

Hesaplanan açı modeli farklı ortam koşullarında test edilerek doğrulanmıştır.



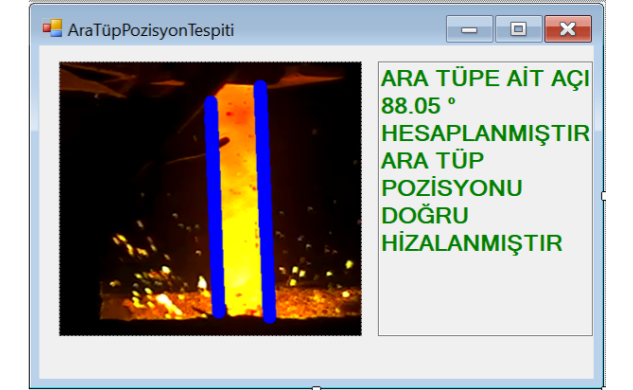
Şekil 5. Döküm Esnasında Ara Tüp Demontaj iken Açı Hesabının Doğrulanması



Şekil 6. Makinede Döküm Yok iken Açı Hesabının Doğrulanması

Ara tüpün pozisyonunun tam merkezli olabilmesi için dik olması yani açısının  $90^\circ$  olması istenmektedir. Fakat tandış

içerisindeki çarpma plakasına göre sahada yapılan testlerde  $4,5^\circ$  açısal sapma aralığında çalışılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Online Görüntü İşleme Uygulaması-Ara Tüp Pozisyonu Uygun

Şekil 7'de modelin hesaplamış olduğu  $88,05^\circ$  olup sapma açısı sınır değerler arasında kaldığı için, ara tüp pozisyonu uygun bulunmuştur.



Şekil 8. Online Görüntü İşleme Uygulaması- Ara Tüp Pozisyonu Uygun Değil

Pota açılmadan önce ara tüp tam merkezlenirse bile sonrasında konumunu kaybedebilmektedir. Ara tüpün sapma açısı  $4,5^\circ$  derece olarak hesaplanmış olup, model içerisinde sapma açısı sınırlarını aştığında Şekil 8 'de görüldüğü gibi ekranda operatöre uyarı vermektedir.

Ara tüp pozisyon tespitinin belirlenmesi için açı tespiti online kamera görüntüsü üzerinde sürekli yapılmakta ve işletme operatörünün takibi kolaylaştırılmaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada EmguCV tabanlı görüntü işleme yöntemleri kullanılarak ara tüpün merkezlemesini tespit eden uygulama geliştirilmiş ve son kullanıcı ekranında gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda operatör ara tüpün anlık sapma açısını izlemektedir. 4,5 dereceyi aşan sapmalarda uygulama uyarı vererek personeli uyarmaktadır. Kumanda odası operatörü bu sayede ara tüpün yönetimini sağlayan dökümcü personeli uyarmakta ve proses stabil hale gelmektedir. Sonuç olarak ara tüpün çarpma havuzu veya plakası dışına çelik akışı gerçekleştirmesinin önüne geçirilerek öncelikle İSG açısından personellerin güvenliği, sonrasında proses güvenliği sağlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen tecrübelerin diğer kütük makinası ve slab makinelerindeki ara tüp ve nozul merkezleme çalışmalarında kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sayede İsdemir'in dijital dönüşüm yolculuğuna ivme kazandırmaya çalışılacaktır.

#### Referanslar

- [1] [https://www.researchgate.net/publication/333076767\\_Efficient\\_Determination\\_of\\_Misalignment\\_of\\_Ladle\\_Shroud\\_Using\\_Machine\\_Vision](https://www.researchgate.net/publication/333076767_Efficient_Determination_of_Misalignment_of_Ladle_Shroud_Using_Machine_Vision)  
 [2] <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2024860>  
 [3] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/391087>

## Seviye3 Yazılım Sistemi ile Tandış Takibi

Tundish Tracking with Level 3 Software System



**Mehmet Ali ARSLAN, Hüseyin YILDIRIM**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

Tundish is a piece of equipment used in metal casting in continuous casting units. The task of this element, which is between the mold and the ladle, is to store the liquid metal and distribute it to one or more molds as desired. The need for this equipment has arisen because the molds have to be fed uninterruptedly at a certain pressure and flow. The molten metal is transferred from the ladle to the molds thanks to the tundish.

Tundish used in castings within in Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) Continuous Castings Directorate are given to tundish machines that are ready after concreting and refractory material assembly processes at Tundish Preparation Stations. During these processes, the refractory materials and brands used during the preparation of the tundish, and the information at which stage the tundish was in, were written in the notebooks by the personnel. When a report was needed regarding the tundish or the refractory materials used, this information could be drawn from the personnel's notes and shift books. After the study, which was carried out with the participation of the Level3 teams, the status of the tundish, the station they were in, the refractory materials used and their brands were transferred to the computer environment. In this way, performance reports related to the desired tundish, the list of materials used in the tundish and the station and stage of the tundish can be accessed very easily.

#### Özet

Tandış, sürekli dökümler metal dökümde kullanılan bir ekipman parçasıdır. Kalıp ve Pota arasında kalan bu elemanın görevi, sıvı metali depo ederek bir veya birkaç kalıba istenilen şekilde dağıtmaktır. Kalıpların belirli bir basınç ve debide kesintisiz beslenmesi gerektiğinden bu ekipman ihtiyacı doğmuştur. Erimiş metal tandış sayesinde potadan alınır ve kanallara aktarılır.

İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İSDEMİR) Sürekli Dökümler Müdürlüğü bünyesinde dökümlerde kullanılan tandışlar, Tandış Hazırlama İstasyonlarında betonlama ve refrakter malzeme montajı işlemlerinden sonra hazır olan tandış makinelerine verilir. Bu işlemler sırasında tandışın hazırlanması sırasında kullanılan refrakter malzemeler ve markaları, tandışın hangi aşamada olduğu bilgileri personeller tarafından defterlere yazılmaktaydı. Tandış veya kullanılan refrakter malzemeler ile alakalı herhangi bir rapora ihtiyaç duyulduğunda bu bilgiler sahadan tuttukları notlar ve vardiya defterleri üzerinden çekilebilirdi. Seviye3 ekiplerinin de katılımıyla yapılan çalışma sonrasında tandışların durumu, hangi istasyonda oldukları, kullanılan refrakter malzemeler ve markaları bilgisayar ortamına aktarıldı. Bu sayede istenilen tandış ile ilgili performans raporlarına, tandışta kullanılan malzemeler listesine ve tandışın hangi istasyonda hangi aşamada olduğuna çok kolay ulaşılmaktadır.

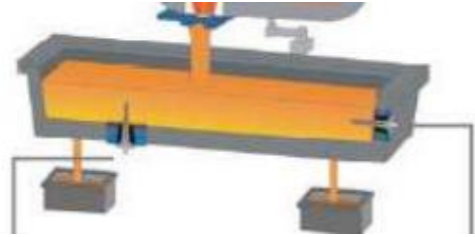
#### 1. Giriş

Bu çalışma Sürekli Dökümler Müdürlüğü kütük döküm ve slab döküm makinelerinde kullanılan, potadan akan çeliğin biriktirildiği ve kalıplara transfer edildiği, içerisi refrakter malzeme ile hazırlanmış, ekmek teknesi şeklinde bir ekipman olan tandışın hazırlanma ve bakım aşamalarının takip edilmesinin iyileştirilmesi planlanmıştır. Aşamaların dijital ortama aktarılması, takibinin daha kolay yapılabilmesi, tandışlara ait ısıtma, kullanım, sökülme, refrakter işlemleri gibi vb. işlemlerin bir yazılım ile takip edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada öncelikle tandışların sırasıyla yapım aşamaları, hangi birimlere bağlı çalışacağı, tandış hazırlamada göreceği işlemler, döküme gireceği makinelerin rotaları gibi soruların cevapları oluşturulmuş ve bir yol çizilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada bahsi geçen ekipman tandişi sıvı çeliğin kalıba girmeden önce içinde bulunduğu, akışı kontrol etmeye yarayan, geniş ve derin olmayan refrakter malzemeler ile örülmüş bir haznedir (Şekil1).



Şekil 1. Tandişin Görüntüsü

Çalışmaya başında başlangıçtan bitişe tüm tandişlerin hazırlanırken yapılan çalışma ve aşamalar sırasıyla belirlenmiş ve bir rota halinde çizilmiştir (Şema1).

Şema 1. Tandiş Üzerinde Uygulanan İşlemlerin Akış Şeması

### SÖKÜM İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Söküm işlemine başlama ve bitiş tarihleri girilecektir.
- Devirme yönteminin Normal veya Kırıcı ile mi yapıldığı belirtilecektir.
- Ön soğutmada su kullanılıp kullanılmadığı (Evet/Hayır) bilgisi girilecektir.

### FANLA SOĞUTMA İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Fanla soğutma işlemine başlama ve bitiş tarihleri girilecektir.
- Planlanan döküm durumu (Açık/Kapalı) bilgisi girilecektir.
- Fanla soğutma işleminden sonra mekanik tamire veya refrakter işlemleri aşamasına gönderilebilir.

### MEKANİK TAMİRAT(CK) İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Tamirat işlemine başlama ve bitiş tarihleri girilecektir.
- Mekanik tamirat işlemi sonrasında tandiş refraktere gönderilebileceği gibi kullanılmayacak durumda ise hurdaya da ayrılabilir.

### REFRAKTER İŞLEMLERİ

- Refrakter Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Tamir türü (Kısmi Tamir/Komple Bakım/Hazırlama) belirlenir.
- Tamir türü Kısmi veya Komple ise tamire başlama ve bitiş zamanları girilir.
- Tamirde kullanılan malzemeler girilecek (Tandiş monolitik beton ve izolasyon malzemesi). Birden fazla girilebilir.
- Gideceği yer alanı eklenecek. Kısmi ise seçim yapabilecek. Komple için kurutma seçilecek, hazırlama için montaj seçilecek ve değiştirilemeyecek.
- Her durumda aşağıdaki bilgiler girilir.
- Örüm başlama ve bitiş zamanları girilir.
- Püskürtme başlama ve bitiş zamanları girilir.
- Püskürtme işleminde kullanılan malzeme firması belirlenir. Birden fazla kayıt olabilir.

### MONTAJ İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Montaj işlemleri başlama ve bitiş tarihleri girilir.
- Kütük döküme ait bit tandişse, planlanan döküm durumu (Açık/Kapalı) gösterilir ve gerçekleşen döküm durumu (Açık/Kapalı) girilir.

### KURUTMA İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Kurutma işlemine başlama ve bitiş tarihleri girilecektir.
- Kurutma işleminden sonra refrakter işlemleri aşamasına gidecek.

### MONTAJ İŞLEMLERİ

- Slab döküme ait bir tandiş ise normal veya twin durumundan birisi seçilir.
- Kullanılan ekipman türleri gösterilir ve her kanal için ekipman markası seçilerek kaydedilir.
- Ekipman türleri belirlenecek. (Kütük döküm açık veya kapalı durumuna göre, slab döküm normal veya twin durumuna göre)

### HAZIR TANDİŞ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Tandiş durumu seçilir. (Isıtma(default) /Söküm).

### ISITMA İŞLEMLERİ

- Sürekli Dökümler Müdürlüğü tarafından yapılır.
- Hazır Tandiş durumundaki tandişler liste olarak görüntülenip, seçilen tandiş ısıtmaya alınacak.
- Isıtma işlemi başlama ve bitiş zamanları girilir.
- Tandiş durumu seçilir. (Normal /Döküme Hazır Değil). Döküme hazır değilse sebebi girilir. Örneğin Üretim Planlama, Torket Dökülmesi vb.
- Döküme hazır değilse fanla soğutmaya gönderilebilir.

İsdemir'de kütük döküm makineleri ve slab döküm makineleri için farklı tandişler kullanılmaktadır. Kütük döküme ait bir tandişin slab dökümde veya slab döküme ait bir tandişin kütük dökümde kullanılması söz konusu değildir.

Kütük döküm için kullanılan tandiş numaraları : 01..20  
Slab döküm için kullanılan tandiş numaraları: 01..20

Yeni satın alınan her tandişe yeni bir numara verilmektedir. Kullanım dışı kalan tandişlere ait numara ise tekrar kullanılmamaktadır.

Kütük döküm için hazırlanan tandişler 6 kanalı besleyebilmektedir. Slab döküm için hazırlanan tandişler ise normal dökümde 2 kanalı, twin dökümlerde ise 4 kanalı besleyecek şekilde hazırlanmaktadır.

Kütük dökümler için hazırlanan tandişler "Açık" veya "Kapalı" döküm durumuna göre hazırlanmaktadır. Slab dökümlerde ise bu şekilde bir ayrım olmayıp tüm tandişler "Kapalı" döküm yapacak şekilde hazırlanmaktadır.

Şimdiye kadar bahsedilen kurallar ve şartlar göz önüne alınarak tandişin izlediği rota oluşturulduktan sonra tasarlanacak yazılım için ekran taslakları oluşturulmaya başlanmıştır ve örnek olarak bir ekran görüntüsü ekte verilmiştir (Şekil 2).

ISITMA İŞLEMLERİ SAYFASI

Tandiş No	16-CCM	HAZIR TANDİŞ
Başlama Zamanı		TANDİŞ NO
Bitiş Zamanı		BAŞLAMA ZAMANI
Durum	Normal/Döküme Hazır Değil	16-CCM
Gideceği Yer	Fanla Soğutma	25.07.2019
		00:23:00

KAYDET İSITMA BİTİR İPTAL

TANDİŞ NO	BAŞLAMA ZAMANI	BITİŞ ZAMANI	GİDECEĞİ YER
16-CCM	25.07.2019 00:23:00		REFRAKTER

Şekil 2. Oluşturulacak İzleme Sistemi Ekranı Taslak Çalışması

## 4. Sonuç

Tandişin geçtiği istasyonlar, yapılan işlemlerin rotasına göre ekran taslakları oluşturularak yazılım ve seviye3 sistemine aktarma çalışmaları tamamlanmıştır.

Çalışma sonucunda Tandiş Holü Operatörü rolü tanımlanarak tandiş hazırlığında görev alan birimler ve ilgili kişilere bu roller tanımlanmıştır. Tanımlanan rol sayesinde giriş yapıлып Tandiş Takip Ekranına giriş yapılabilmektedir (Şekil3). Bu ekrandan kaç numaralı tandişin hangi istasyonda ve ne aşamada olduğu rahatça görülebilmektedir.

ISITMA İŞLEMLERİ SAYFASI

TANDİŞ NO	BAŞLAMA ZAMANI	BITİŞ ZAMANI	GİDECEĞİ YER
16-CCM	25.07.2019 00:23:00		REFRAKTER

Şekil 3. Tandiş Takip Sistemi Seviye3 Yazılımı Ekranı



Sonrasında herhangi bir aşamada bulunan tandiše tıklayıp ayrıntılarına bakılabilmektedir. Örneğin montaj aşamasında olan bir tandiše tıkladığımızda tandiş montaj başlama ve bitiş zamanları, kanallarında hangi marka refrakter kullanılmış, planlanan döküm türü sorularına cevap verebilmektedir (Şekil4).

ID	Tarih	Saat	Durum
160001	21.02.2022	09:38	Bitmiş
160002	21.02.2022	10:11	Bitmiş
160003	21.02.2022	10:41	Bitmiş
160004	21.02.2022	10:24	Bitmiş
160005	21.02.2022	10:21	Bitmiş
160006	21.02.2022	10:10	Bitmiş

Şekil 4. Tandish Montaj İşlemleri Ekranı

Tandiş takibi kolaylıkla yapılabildiği gibi geriye dönük kaç numaralı tandişte hangi işlemler yapılmış, hangi marka refrakter kullanılmış gibi soruların cevaplarını bulabilmek adına tandiş takip raporu çekilebilmektedir. Bu raporda tandişin bütün aşamalarının tarih ve saatleri, kullanılan malzemeler vb. birçok parametreye ulaşılabilir (Şekil5).

ID	Tarih	Saat	Malzeme	Parametre	Değer
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	1
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	2
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	3
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	4
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	5
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	6
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	7
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	8
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	9
160001	21.02.2022	09:38	REFRAKTER	MARKA	10

Şekil 5. Tandish Takip Raporu Örneği

Bu yazılım sayesinde sahamızda personeller tarafından tutulan ve kağıtlara not alınan ilkel bir yöntem geride bırakılmıştır. Ayrıca tandişte kullanılan sarf malzemelerin performanslarını takip etmeye, problem görülen bir tandişin bilgilerine ulaşmaya çok zaman harcamadan kağıtları taramadan kolayca yapabilmeyi sağlamıştır.

## Referanslar

[1] GÜLDALI, M. (2018). Ürün Çelik Kalitesine Bağlı Olarak Sürekli Kütük Döküm Kusurlarının Araştırılması. HATAY.

[2] Seviye1, Seviye2, Seviye3 Yazılımları, İSDEMİR

## Kritik Ekipmanların ve Odaların Sıcaklık Takibi

### Temperature Monitoring of Critical Equipment & Rooms



#### Zülfikar Emre TAN, Abuzer AKAT

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

The Continuous Casting process is a production stage where liquid steel turns into solid steel. At this stage, unscheduled stop and breakdown are among the undesirable situations. Experiencing undesirable situations causes production losses in integrated plants such as İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR). Therefore, it is of great importance to ensure production continuity. One of the primary methods of ensuring production continuity is to provide cooling systems suitable for critical equipment used in the field. Temperatures of PLC rooms and mold sensor temperatures are monitored in order to check whether the cooling systems are working properly.

In this study, it is aimed to transfer the measured temperature values to the maintenance management system and to notify the relevant maintenance units by fault notification and e-mail in case the equipment goes out of the ideal operating temperatures.

#### Özet

Sürekli Dökümler prosesi sıvı çeliğin katı çeliğe dönüştüğü bir üretim aşamasıdır. Bu aşamada plansız duruş ve arızalar istenmeyen durumların başında gelir. İstenmeyen durumların yaşanması İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) gibi entegre tesislerde büyük üretim kayıplarına neden olmaktadır. Bu yüzden üretim sürekliliğini sağlamak başlıca yöntemlerinden biri sahada kullanılan kritik öneme sahip ekipmanlara uygun soğutma sistemlerinin sağlanmasıdır. Soğutma sistemlerinin düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla PLC odalarının sıcaklıkları ve kalıp sensör sıcaklıkları takip edilmektedir.

Bu çalışmada ölçülen sıcaklık değerlerinin bakım yönetim sistemine aktarılarak ekipman için önceden belirlenmiş olan ideal çalışma sıcaklıklarının dışına çıkması durumunda ilgili bakım birimlerine iş bildirimi ve mail ile bildirilmesi amaçlanmıştır.

#### 1. Giriş

Entegre demir çelik tesislerinde prosesler birbirine bağlıdır. Bir proses, önceki ve sonraki süreçleri etkilemektedir.

Sürekli dökümler prosesi ise çeliğin katılaştığı aşama olup üretim sürekliliği için kritik tesislerden biridir.

Entegre demir çelik tesislerinde bakım veya duruşların planlı olması istenir. Bakım ve duruş ihtiyaçları çeşitli parametrelere göre hesaplanır ve aylık/yıllık üretim projeksiyonları oluşturulur. Plansız bakım duruşları tesislerin üretim planının dışına çıkmasına sebep olup istenmeyen durumlardır. Plansız bakım duruşlarının istenmemesinin başlıca sebepleri, üretim ve iş gücü kaybına sebep olmasıdır.

Plansız duruşlara ekipman arızaları, operasyonel hatalar ve enerji kesintileri sebep olabilmektedir. Bu plansız duruşlar tesisleri komple durdurabildiği gibi yalnızca makine duruşlarına da sebep olabilmektedir. Tesis duruşları üretimin devam etmesini engellediği için istenmemektedir. Tesis duruşuna neden olabilecek ekipmanlar, kritik ekipman olarak adlandırılır. Bakımcılar açısından bu kritik ekipmanların takibi ve bakımı büyük önem arz etmektedir.

Gelişen teknoloji ile beraber ekipman arızalarını öngörmek mümkündür. Tesisler için kritik öneme sahip ekipmanların üzerinden alınan sıcaklık, vibrasyon, basınç vb. parametreleri izleyerek ekipman sağlığı hakkında fikir edinebiliriz. Bu sayede kestirimci bakımlarla plansız duruşların önüne geçebiliriz.

Kestirimci bakımın amacı ekipmanın çalışma durumunu izleyerek ve ekipman arızasının ne zaman gerçekleşebileceğini tahmin ederek arıza süresini ve bakım maliyetini azaltmaktır. Gelecekteki potansiyel arızalar için öngörü yoluyla arıza gerçekleşmeden önce bakımın planlanmasını sağlamaktır.

#### 2. Deneysel Çalışmalar

İSDEMİR’de bakım yönetimi Maximo yazılımı ile yapılır. Sahada kullanılan ekipmanlar Maximo yazılımında tanımlı olup kritiklik durumları belirlenmiştir. Kritik ekipmanların üzerinden okunabilen sıcaklık, vibrasyon, basınç vb. bilgiler Maximo yazılımı aracılığıyla görülebilmektedir. Yapılan tanımlamalara göre ekipmanlardan okunan değerler belirlenen çalışma aralığı dışına çıktığı zaman uyarı oluşturup ilgili birimlere otomatik olarak iş bildirimi yapılmaktadır.

Sürekli Dökümler Müdürlüğü olarak ilk etapta slab makineleri MCC ve PLC odalarının sıcaklık değerleri, kalıp seviye sensör ve stoper motoru sıcaklık değerleri takibe alınmıştır. Seviye 2 sistemi, seviye 1 yazılımındaki Scada Tag'larından okuduğu bilgileri seviye 3 sistemine aktarmaktadır. Seviye 3 sisteminde saklanan bilgiler Maximo yazılımında görülebilir hale gelmektedir. Veriler 3 saatte bir okunarak kayıt altına alınmaktadır.

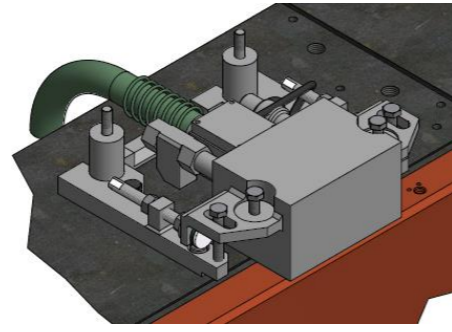
Elektriksel ve elektronik ekipmanların sağlıklı ve uzun ömürlü çalışması için sıcaklıklarının etiketlerinde belirtilen optimum değerler arasında olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında Sürekli Dökümler Müdürlüğü'nde takip edilen ekipmanlar konusunda uyarı oluşturmak amacıyla belirlenen değerler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Ekipman Adı	Uyarı Değeri (°C)
MCC ve PLC Odaları	35
Kalıp Seviye Sensörleri	70
Stoper Motorları	70

Tablo 1. Kritik Ekipmanların Sıcaklık Uyarı Değerleri



Şekil 1. Stoper Motoru



Şekil 2. Kalıp Seviye Sensörü

Ekipman Adı	HMI TAG ID	Ölçüm
SCP-1 PLC C ODASI	COMM_RoomC_Temperature	SCAKLIK
SCP-1 MCC A ODASI	DRV1_RoomA_Temperature	SCAKLIK
SCP-1 MCC B ODASI	DRV2_RoomB_Temperature	SCAKLIK
SCP-1 1.KANAL 1 NOLU AMLC SENSÖR	DRB_MMI_PROFACE_MES_SENSOR_1_TEMP	SCAKLIK
SCP-1 1.KANAL 2 NOLU AMLC SENSÖR	DRB_MMI_PROFACE_MES_SENSOR_2_TEMP	SCAKLIK
SCP-1 2.KANAL 1 NOLU AMLC SENSÖR	DRB_MMI_PROFACE_MES_SENSOR_1_TEMP_1	SCAKLIK
SCP-1 2.KANAL 2 NOLU AMLC SENSÖR	DRB_MMI_PROFACE_MES_SENSOR_2_TEMP_1	SCAKLIK
SCP-1 1.TANDIS ARABA 1.KANAL AMLC STOPER MOTORU 1A	DRB_MMI_PROFACE_MES_ACT_TEMPERATURE_T01	SCAKLIK
SCP-1 2.TANDIS ARABA 1.KANAL AMLC STOPER MOTORU 1A	DRB_MMI_PROFACE_MES_ACT_TEMPERATURE_T02	SCAKLIK
SCP-1 1.TANDIS ARABA 2.KANAL AMLC STOPER MOTORU 1A	DRB_MMI_PROFACE_MES_ACT_TEMPERATURE_T03	SCAKLIK
SCP-1 2.TANDIS ARABA 2.KANAL AMLC STOPER MOTORU 1A	DRB_MMI_PROFACE_MES_ACT_TEMPERATURE_T04	SCAKLIK

Şekil 3. Seviye 1 Tag Tablosu

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Ölçüm Verisi	Değer	Tarih	Statü
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	62.200	24.02.2022 07:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	62.800	24.02.2022 04:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	63.400	24.02.2022 01:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	62.100	23.02.2022 22:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	65.800	23.02.2022 19:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	63.700	23.02.2022 16:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	64.000	23.02.2022 13:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	63.400	23.02.2022 12:52:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	64.800	23.02.2022 09:52:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	65.100	23.02.2022 09:14:00	MAKADMIN

### Referanslar

[1] M. Ü. Gürsoy, U. C. Colak, M. H. Gökce, C. Akkulak ve S. Otles, International Journal of 3D Printing Technologies and Dijital Industry (2019).

Ölçüm Verisi	Değer	Tarih	Statü
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	29.000	24.02.2022 10:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	30.000	24.02.2022 07:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	29.000	24.02.2022 04:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	29.000	24.02.2022 01:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	30.000	23.02.2022 22:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	29.000	23.02.2022 19:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	30.000	23.02.2022 16:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	29.000	23.02.2022 13:23:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	30.000	23.02.2022 12:52:00	MAKADMIN
SCAKLIK2 Sıcaklık-SANTİGRAT	30.000	23.02.2022 09:52:00	MAKADMIN

Şekil 4. Maximo Yazılımı Uygulaması

### 4. Sonuç

Kritik ekipmanların ve odaların sıcaklıklarının takibi ile

- MCC ve PLC odalarında 02.12.2021 tarihinden itibaren 534 sıcaklık verisi oluşmuştur ve iki kez belirlenen sıcaklığı geçtiğinden ilgili birimlere iş bildirimi atılarak ekipmanların arızalanmasının önüne geçilmiştir.
- Kalıp seviye sensörlerinde 02.12.2021 tarihinden itibaren 533 sıcaklık verisi oluşmuştur ve sekiz kez belirlenen sıcaklığı geçtiğinden ilgili birimlere iş bildirimi atılarak soğutma sisteminin bakımı yapılmıştır.
- Stoper motorlarında 02.12.2021 tarihinden itibaren 534 sıcaklık verisi oluşmuştur. Okunan bilgiler tanımlanan çalışma aralığında olduğundan uyarı oluşmamıştır.

## Wire Rod Mill Online Monitoring Screen (Digitalization)

Kangal Haddehanesi Online İzleme Ekranı (Dijitalleşme)



**Ayten ÇEKİÇ, Gökhan BİLMEZ, Erhan KORKMAZ, Erman KAYA**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In İsdemir Wire rod mill, production is made in different sizes between 5.5mm and 16mm including in many quality/product groups. Important production parameters, stock detail status, day/month/year based production table matrices are prepared every day by production planning engineers with manual work prepared on excel and sent to the relevant persons via e-mail. With the digitalization project, all relevant personnel and managers will be able to instantly monitor important parameters and table matrices on their own computer screens with the "wire rod mill online monitoring screen".

With the Current Digitization Project, related personnel will be able screen all the related information online. Digitization Project will eliminate manuel labor and provide greater accessibility with perfect accuracy and possible errors will be prevented since it is not dependent on person. It is explained how the project contributes to saving labor time and increasing production continuity and efficiency with the decisions to be taken while being followed on the online screen.

### 1. Introduction

Billets coming out of the continuous casting machine in İsdemir Wire Rod Mill are rolled as coils in 23 different sizes, with thickness ranges of 5.5mm-16mm. The size of the billets to be rolled has a width of 130X130mm and a length of 12m.

First, the billets from the continuous casting unit are subject to quality control approval at the billet stock area. The approved billets are stacked in front of the line stock area. Billets must be heated to the temperature of 1,200°C before rolling. This heating is done in the wire rod mill reheating furnace.

Afterwards, the billets are pre-shrunk in the rough group processing section, the thinning process is continued in the intermediate groups, and finally, they are reached to the final production size thickness in the machines called monoblock. Coils reaching the order thickness are subjected to cooling-forming-packaging processes and are made ready for

shipment.

Production is carried out in 6 different product process groups at İsdemir wire rod mill facilities. Roller depreciation and efficiency restrictions apply. These restrictions are related to the thickness, quality and order requirements of the coils to be produced.

Product Process Groups;

1. HIGH CARBON
2. COMMERCIAL QUALITY
3. PC QUALITY
4. FINE WIRE
5. NUT-SCREW
6. ELECTRODE/SG

Before the project, separate reports were received from different applications and departments within the system and prepared manually so that we could access all information and prepare summary tables. As production continued during the report preparation process, inconsistencies could occur in the data and could not provide us with a net value. After commissioning the project, online traceability of the system was ensured.

### 2. Experimental Procedure

Production statistics, Stock information, Production casting-program-charging schedule information, Line stop information, Product group-Size-Customer based orders and productions as day/month/year can be found on the wire rod mill monitoring screen with live data. This screen was created as a result of the integrated work of the production planning and software departments.

This software has been developed in Java using the Java Server Faces 2.0 technology used in the software department of İSDEMİR. In addition, Java Script was used to add dynamic features to the web page. The page shows data is stored in Oracle 19C database. During this study, the data received from different systems were combined and displayed on the screen designed below. Oracle DB functions and Rest

service structures are used to communicate with other systems. [1]

All authorized employees can log in to the online monitoring screen with their personal credentials via İsdemir UYS (Production Management System). The system is constantly updating the data flow automatically. It is shown in Figure 1 as the main screen of the monitoring system.

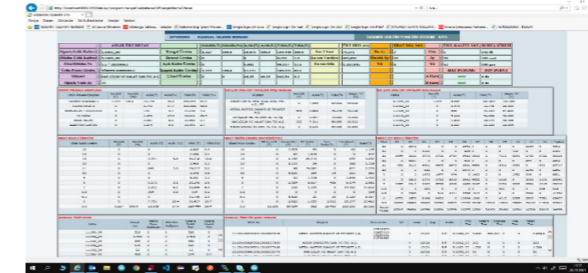


Figure-1 Main screen (wire rod mill online monitoring screen)

The main headings of the sections numbered on the main screen (Figure-1) are listed below.

- 1- Production informations
- 2- Product specifications

#### 2.1. Production informations

Instant production tracking, Downtimes, Line status, Production speed information can be seen in detail as seen in the tables. It is ensured that the business and planning teams follow the production schedule instantly and take safety actions about the stock status. (Figure 2-3-4)

ANLIK ÜRT DETAY		Günlük(T) Günlük(%)		Aylık(T) Aylık(%)		Yıllık(T) Yıllık(%)		
Sipariş Çelik Kalitesi	1.1006_00	Kangal Üretim	1.042	100.0	17.351	100.0	63.795	100.0
Döküm Çelik Kalitesi	1.1006_00	İhracat Üretim	0	0	217	1.3	8.837	12.6
Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Açık Kalite Üretim	929	89.2	6.070	35.0	15.930	25.0
Ürün Proses Grubu	İNCE TELLİK	Kapalı Kalite Üretim	113	10.8	11.282	65.0	47.865	75.0
Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	2.Sınıf Üretim	1.69	1.69	17.65	17.65	185.79	0.3
Sipariş Vade Ay	02							

Figure-2 Production informations (total and actual production values)

ORT. ÜRT HIZI (m/s)		EBAT DÖŞ SAY.		ÜRT. KALİTE SAY.		DURUŞ SÜRESİ	
Son 1 Saat	104,17	Bu Ay	6	Gün	2	260 dk	
En son Vardiya	92,354	Önceki Ay	5	Ay	20	60 saat	
En son Gün	69,575	Yıl Ort.	5	Yıl	40	11 gün	
				HAT DURUMU		SON DURUŞ	
				A Hattı	Paşaf	26 dk	
				B Hattı	Paşaf	20 dk	

Figure 3 Production informations (production speed and downtimes, line status)

MALZEME		MALZEME		MALZEME		MALZEME	
Malzeme	Malzeme	Malzeme	Malzeme	Malzeme	Malzeme	Malzeme	Malzeme
1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104
1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104
1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104
1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104	1.1006_00	5.5 / 22332104

Figure 4 Production schedule and stock status

#### 2.2. Product specifications

It will help managers and other relevant personnel (product groups, size, customer and quality-based summary matrices) to make healthier decisions in a shorter time by accessing live data. Production performance values can be followed with 6 different tables. (Figure 5)

SİPARİŞ ÇELİK KALİTESİ		DÖKÜM ÇELİK KALİTESİ		EBAT/DÖKÜM NO		MÜŞTERİ		SİPARİŞ VADE AYI	
Sipariş Çelik Kalitesi	1.1006_00	Döküm Çelik Kalitesi	1.1006_00	Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02
Döküm Çelik Kalitesi	1.1006_00	Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02		
Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02				
Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02						
Sipariş Vade Ayı	02								

Figure 5 Product specifications

### 3. Results and Discussion

The online monitoring screen of the Wire Rod mill was tested in July-August-September, and opened to the use of the authorities live in October. Thanks to this work, around 10% labor time was saved. In addition, all authorized managers and personnel have access to the most up-to-date data and important parameter values and tables of the wire rod mill, making it sustainable and quickly accessible.

In cases where rolled billets need to be retrospectively examined, the Quality control and operation departments need the casting number. In order to take quick action, the casting and analysis values of the produced coil can be accessed for a short time, thanks to the screen. (Figure 6)

SİPARİŞ ÇELİK KALİTESİ		DÖKÜM ÇELİK KALİTESİ		EBAT/DÖKÜM NO		MÜŞTERİ		SİPARİŞ VADE AYI	
Sipariş Çelik Kalitesi	1.1006_00	Döküm Çelik Kalitesi	1.1006_00	Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02
Döküm Çelik Kalitesi	1.1006_00	Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02		
Ebat/Döküm No	5.5 / 22332104	Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02				
Müşteri	AKKATOĞLU DEMİR ÇELİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ	Sipariş Vade Ayı	02						
Sipariş Vade Ayı	02								

Figure 6 Casting number and customer relationship

#### 4. Conclusion

Current sector conditions and competitive environment force companies to minimize the cost of final products and to environments where data can be accessed in a shorter time. As a result, digitalization projects have a very important role in achieving these goals. The Digitalization project (Wire Rod Mill Online Monitoring Screen), created by the production planning and software departments, was commissioned in October 2021 after successfully completing the test processes. Our digitalization project helps the company make faster decisions for the production process and increase its competitiveness. After the project is put into use, all the data needed are available live and an average of 1 hour of labor time is gained per day.

#### References

- [1] <https://www.ibm.com/docs/en/was-liberty/nd?topic=features-javaserver-faces-20>
- [2] Challenges in the modelling of scale formation and decarburisation of high carbon, special and general steels (H.F. Marston, P.H. Bolt, G. Leprince, M. Röder, R. Klima, J. Niska & M. Jarl)

## Düşük Silisli Slab Kalitelerinde Si Yüksek Nedenli Üretimlerin Azaltılarak Siparişine Üretim Arttırılması

Increasing The Production to Order by Reducing The High-Si-Reason Production in Low Silicon Grades



**Kübra AKGÜN<sup>1</sup>, İlker AYÇİÇEK<sup>1</sup>, Alper KURTOĞLU<sup>1</sup>, Nurettin KARGAOĞLU<sup>1</sup>, Turan Görkem ESKİYURT<sup>1</sup>, Burcu SOYSAL ATAN<sup>1</sup>, Tayfun KOCABAŞ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Ereğli Demir ve Çelik - Türkiye

#### ÖZET

İsdemir A.Ş.'de üretilen düşük karbonlu alaşımsız kaliteler soğuk haddeleme sonrası sürekli tavlama prosesine uygun olan alanlarda kullanılmakta olup DIN 1614-1:1986 standardına göre üretilmektedir. İlgili kaliteler kullanım alanı gereği soğuk haddeleme ve hassas bir galvanizleme prosesinden geçmektedir. Bu nedenle silisyum değeri DIN 1614-1:1986 standardında 0,03 % ile sınırlandırılmıştır. Düşük silisyumlu slab kaliteleri sırasıyla DES-BOF-LF-SMP istasyonlarından geçerek yarımamul haline gelmektedir. Bu çalışmada düşük silisyumlu slab kalitelerinde, ikincil metalürji prosesindeki silisyum yükselmeleri nedenli oluşan sipariş harici üretimin azaltılması hedeflenmiştir. Yapılan ön çalışmalarda kalitelerdeki silisyum % değeri artışının kök neden analizi tespiti için 3 aylık bir dönemin düşük silisli slab kalitelerindeki ikincil metalürji prosesinde döküme verilen CaF<sub>2</sub> miktarı, CaO miktarı, ikincil metalürji giriş-çıkış cüruf analizleri, deoksidasyon amaçlı ve alaşımlama amaçlı verilen Al miktarı vb. parametrelerle bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti üzerinden Minitab programı aracılığıyla çoklu doğrusal regresyon analiz yapılmış ve ikincil metalürji prosesi çıkış %Si değerini açıklayan istatistiksel model elde edilmiştir. Önemli bir faktör olarak belirlenen pota önceki kalitenin kütük ya da slab olma durumunda silisyum yükselmelerinin farklı olduğu görülmüş olup; üretim sırasında olası silisyum % değeri hesaplanarak olası silisyum yüksek nedenli sipariş harici uygulamalarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan modeldeki etkili faktörler metalürjik açıklamaya dayandırılarak bir deneme üretim prosedürü oluşturulmuştur. Hazırlanan prosedürle birlikte deneme üretimleri

alınmış ve sonuçları incelenmiştir. Üretim sonrasında modelin tahmini %Si değeri ile gerçekleşen % Si değeri arasında istatistiksel olarak bir fark görülmemiştir. Oluşturulan üretim prosedürü ile birlikte düşük silisli düşük karbonlu slab kalitelerinde Si % yüksek nedenli dökümlerin ve sipariş harici üretim oranının azaldığı görülmüştür.

#### ABSTRACT

The low carbon unalloyed grades produced in İsdemir A.Ş are used in areas suitable for the continuous annealing process after cold rolling process. The grades are produced according to the DIN 1614-1:1986 standard. Relevant grades go through cold rolling and a sensitive galvanizing process due to their area of use. Therefore, the silicon value is limited to 0.03% in the DIN 1614-1:1986 standard. Low-silicon slab grades pass through DES-BOF-LF-SMP stations, respectively, and become semi-finished products. In this study, it was aimed to reduce the production of silica % high in low silicon slab grades in the secondary metallurgical station. In the preliminary studies, in order to determine the root cause analysis of the increase in silicon % value in the grades, the amounts of CaF<sub>2</sub>, CaO amounts, secondary metallurgy inlet and outlet slag analyzes, Al amounts given for deoxidation and alloying purposes, etc. A data set was created with secondary metallurgical parameters. Multiple linear regression analysis was performed on the generated data using the Minitab program tool and a mathematical model describing the SMP output %Si value was obtained.

It was observed that the silicon increasing were different in case the previous quality of the ladle, which was determined as an important factor, was billet or slab. It was aimed to prevent possible silica high divert and out of order production by calculating the possible silicon % value. Based on the metallurgical explanation of the effective factors in the created model, a trial production procedure was established. With the prepared procedure, trial productions were taken and the results were examined. After the production, there was no statistical difference between the estimated %Si value of the model and the actual %Si value. With the established production procedure, it has been observed that the castings due to high Si % and the out-of-order production rate have decreased in low silicon low carbon slab grades.

**Key Words:** Secondary metallurgy, steel, slag, si % pick up, multiple regression analysis

### 1. Giriş

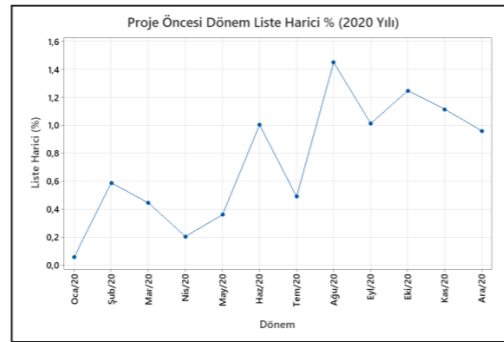
İdemir A.Ş.'de üretilen düşük karbonlu alaşımsız kaliteler soğuk haddeleme sonrası sürekli tavlama prosesine uygun olan alanlarda kullanılmakta olup DIN 1614-1:1986 standardına göre üretilmektedir. İlgili kaliteler kullanım alanı gereği soğuk haddeleme ve hassas bir galvanizleme prosesinden geçmektedir. Bu nedenle silisyum değeri DIN 1614-1:1986 standardında 0,03 % ile sınırlandırılmıştır.

Çalışmada ikincil metalürji prosesindeki düşük karbonlu düşük silisli düşük manganlı kalite üretimlerindeki silis yükselmeleri ele alınmıştır. Üretimi yapılan kaliteler Yüksek Fırın- Kükürt Giderme İstasyonu- Bazık Oksijen Konverteri- İkincil Metalürji İstasyonu –Slab Döküm Makinası- Sıcak Haddehane proseslerinden geçerek üretilmektedir.

İkincil metalürji prosesine gelen dökümün curufu gözle kontrol edilir. Gözle kontrol sonrası sıcaklık ölçümü ve kimyasal analiz alınır. Curuf yapısına göre fluks ilavesi ve deoksidasyon amaçlı Al verilir. Kalite kartı analizine göre Mn, C, Al % vs. elementleri ilave edilerek nihai analiz oluşturulur. Son olarak etkin yüzdürme işlemi yapılır; pota dökülmek üzere slab sürekli döküm makinasına gönderilir.

Çalışmada düşük karbon düşük silis düşük manganlı kalitelerde ikincil proses çıkışı Si değerinin 0,03 % max. değerinin altında tutularak siparişin üretim oranının artırılması böylelikle maliyet kaybının azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışma öncesinde Si kaynaklı sipariş harici üretim oranı 0,75% olup aylık değişimleri verilmiştir.



**Figure 1.** Sipariş Harici Üretim Aylık Bazda Dağılımı

### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında silisyum artışına etki eden faktörleri tespit edebilmek için kimyasal analiz, curuf yapıcı malzemeleri, deoksidasyon ve alaşımlama amaçlı verilen Al miktarlarını, curuf analizlerini içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Sistematik bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmıştır. Analiz yapılırken çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Modellemeye başlamadan önce hangi girdi faktörlerini dikkate alacağımızı belirlemek amacıyla best subset regresyon analizi yapılmıştır.

Model Summary				
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
	0,0024447	81,40%	80,83%	79,91%

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,00688	0,00116	5,93	0,000	
SMP Çıkış FeO	-0,000937	0,000257	-3,65	0,000	1,45
SMP Çıkış MgO	-0,000237	0,000056	-4,20	0,000	1,03
SMP Giriş S	0,3900	0,0399	9,78	0,000	1,78
SMP Çıkış S	-0,5800	0,0532	-10,90	0,000	1,99
SMP Giriş Si	0,9655	0,0555	17,40	0,000	2,17
SMP Tel CaSi Tüketimi	0,000210	0,000013	15,68	0,000	1,25
SMP Piramit Al Tüketimi	0,000013	0,000004	3,55	0,000	1,08
SMP Tel Al Tüketimi	0,000006	0,000003	1,93	0,055	1,10
K/S Pota Önceki Kalite					
S	-0,001754	0,000513	-3,42	0,001	1,90

**Figure 2.** İkincil Metalürji Prosesi Çıkış Si% modellemesi

Regression Equation	
K/S Pota Önceki Kalite	SMP Çıkış Si = 0,00688 - 0,000937 SMP Çıkış FeO - 0,000237 SMP Çıkış MgO + 0,3900 SMP Giriş S - 0,5800 SMP Çıkış S + 0,9655 SMP Giriş Si + 0,000210 SMP Tel CaSi Tüketimi + 0,000013 SMP Piramit Al Tüketimi + 0,000006 SMP Tel Al Tüketimi
S	SMP Çıkış Si = 0,005126 - 0,000937 SMP Çıkış FeO - 0,000237 SMP Çıkış MgO + 0,3900 SMP Giriş S - 0,5800 SMP Çıkış S + 0,9655 SMP Giriş Si + 0,000210 SMP Tel CaSi Tüketimi + 0,000013 SMP Piramit Al Tüketimi + 0,000006 SMP Tel Al Tüketimi

**Figure 3.** Pota önceki kalitenin K/S olma durumuna göre model

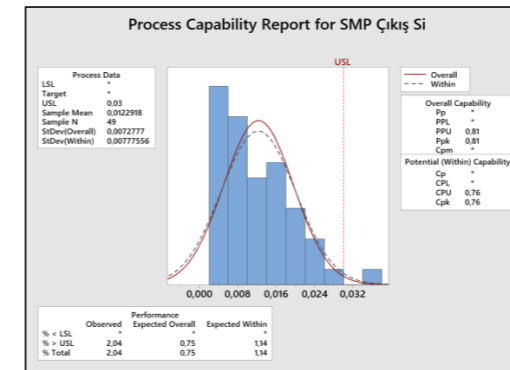
Modelde yer alan girdi faktörlerinin prosesteki etkileri yorumlanmıştır.

Elde edilen modellerle birlikte dökümde deoksidasyon amaçlı verilen Al ve alaşımlama amaçlı verilen Al miktarı sınırlandırılmıştır. Döküm işlem başlangıç ve bitişlerinde kimyasal curuf analizinde modelde yer alan FeO miktarının aralıkları belirlenmiştir. Pota önceki kalitenin kütük kalitesi olması durumunda pratikte yaşanan silis artışlarının metalürjik açıklaması modeldeki katsayı farkıyla ortaya çıkmıştır. Pota önceki kalitesi kütük olduğunda tahmini çıkış Si % değeri daha fazladır. Çelikteki işlem başlangıç S % ve bitiş S % değeri ile birlikte deoksidasyona bağlı olarak Si % artışı görülmüştür.

Modelin girdi parametreleri ile bir üretim prosedürü hazırlanmıştır. Hazırlanan prosedürle 49 döküm alınmış olup modelin doğrulama deneyleri tamamlanmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Hazırlanan prosedüre göre üretilen dökümlerde sipariş harici üretim yaşanmamıştır. Modelin gücünü doğrulamak amacıyla gerçekleştirilen 49 adet deneme döküm üzerinden model tahmini SMP çıkış %Si değeri ile fiili değer arasında ortalama istatistiksel olarak fark olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca süreç yeterliliği analizi yapılarak döküm çelik kalite kartına göre üst limitin üzerinde kalan oran hesaplanmıştır.



**Figure 4.** İkincil Metalürji Çıkış Si Süreç Yeterlilik Analizi

### Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu$
49	0,000704	0,003953	0,000565	(-0,000431; 0,001840)

$\mu$ : mean of Fark

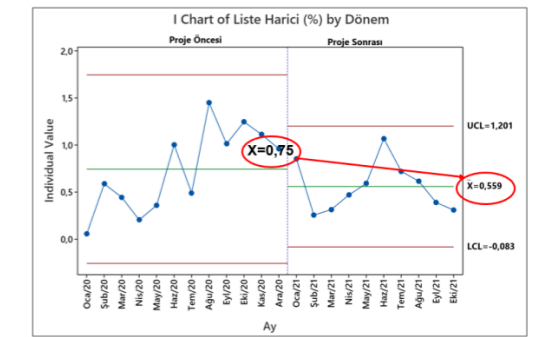
### Test

Null hypothesis  $H_0: \mu = 0$   
Alternative hypothesis  $H_1: \mu \neq 0$

T-Value	P-Value
1,25	0,219

**Figure 5.** Hipotez Testi

Düşük karbon düşük silis düşük manganlı kalitelere yönelik hazırlanan üretim prosedürü ile birlikte 6 aylık sipariş harici üretim oranı kıyaslanmıştır.



**Figure 6.** Proje Öncesi-Sonrası Kıyaslama

Proje öncesi dönemde Si kaynaklı sipariş harici üretim oranı 0,75 % iken proje sonrası dönemde 0,55 % ye düşmüştür. Yapılan çalışma ile birlikte;

- Curuf deoksidasyon pratiği gözden geçirilmiştir. İstasyon delta S farkının arttıkça Si % artışlarının olduğu görülmüştür.
- Modele uyularak çalışılan dökümlerde kalite ihtiyaçlarına göre kullanılan piramit Al ve tel Al miktarlarında ,kireç miktarlarında bir azalma olabileceği görülmüştür.
- Çalışma sonucu elde edilen modele uyumu ve çalışma prensibini kontrol altında tutmak amacıyla Seviye-3 sistemine entegre edilmiştir.

## EN ISO 683-1:2018 C45E Kalite Kangal Çeliklerinin Deney Tasarımı ile Mekanik Özelliklerin Modellenmesi

The Modeling of Mechanical Properties by Experimental Design of EN ISO 683-1:2018 C45E Quality Wire Rod Steels

◆  
Mustafa TÜRKMANI, Burcu SOYSAL ATAN, Hamdi GÜL, Barış Berke NALBAT, Ahmet SAĞLAM  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### ÖZET

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) firmasında 2020 yılında yaklaşık 600 bin ton kangal üretimi gerçekleştirilmiştir. Kangal Haddehanesi ürün gamında ince tellik, ticari, yüksek karbonlu, somunluk, cıvatalık, elektrotluk kaliteler olup Ø5,5 mm den Ø16 mm çaplarda üretim yapılmaktadır. Kangal üretimimin yaklaşık %5 lik payını C45E kalitesi oluşturmaktadır. EN ISO 683-1:2018 C45E standardına ait İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) kalitesi olan 5.1045\_00 kalite ; tel - yay - halat imalatına uygun karbon çelikleri sınıfına girmektedir. Yapılan çalışmada girdi faktörleri olarak %C, %Mn ve %fan değerleri dikkate alınarak tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımı ile elde edilen denemelerin yapılması ve analizi sonucunda çekme mukavemetini %90 oranında açıklayan matematiksel model elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel model doğrultusunda girdi faktörlerinin optimum seviyeleri belirlenmiş olup, bu kapsamda gerçekleştirilen üretim sonuçları incelendiğinde önceki üretilere göre çekme mukavemet değerlerinin standart sapma değerinde 11 MPa, toplam hatalı oranında %16,37 değerinde düşüş olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** istatistiksel modelleme, tam faktöriyel deney tasarımı, Minitab, optimizasyon çekme mukavemeti, kangal, C45E, süreç yeterliliği.

### ABSTRACT

600.000 tons wire rod are produced in İskenderun Demir ve Çelik Inc. Co. (İSDEMİR) annually in 2020. In wire rod mill production are divided according to application of wire rod that are wire, high carbon, pin bolt, bolt and welding wire in the range of Ø 5,5 and Ø16 mmdiameter. 5 % of total production is C45E quality. İskenderun Iron and

Steel Inc. (İSDEMİR) quality 5.1045\_00, which belongs to EN ISO 683-1:2018 C45E standard; It is in the class of carbon steels suitable for wire - spring - rope manufacturing. In the study, a full factorial experimental design was made with %C, %Mn and %fan values as input factors. As a result of the experiments and analysis obtained with the experimental design, a mathematical model was obtained that explains the tensile strength at the rate of 90%. With the mathematical model obtained, the optimum levels of the input factors were determined, and when the production results were examined, the standard deviation value of the tensile strength values decreased by 11 MPa and the total defect rate decreased by 16.37% compared to the previous productions.

**Key Words:** statistical modelling, full factorial experiment design, Minitab, optimization, tensile strength, coil, C45E, process capability

### 1. Giriş

Çalışmaya konu olan EN ISO 683-1:2018 C45E kalitesi İSDEMİR için Yüksek Mukavemetli Tel - Yay - Halat İmalatına için kullanılan bir çelik türüdür. Kalite ifadesinde belirtilen "EN" Euro Norm'u ifade etmekte olup "ISO" Uluslararası standartlar organizasyonu nu belirtmektedir. "683" Euro Norm'un ilgili standart numarası olup, "-1" ile belirtilen kısım standardın alaşimsız çelikler için su verme ve temperleme işlemi bölümüne aittir. C45E belirtilen karbon değerini ifade etmektedir.

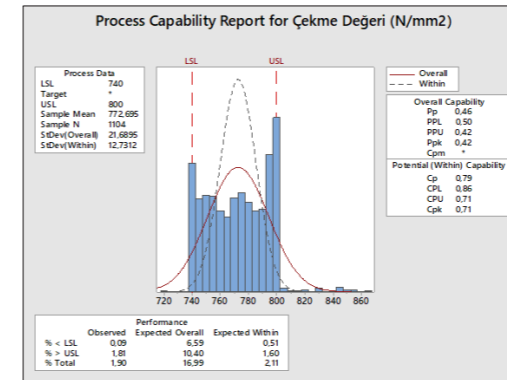
Çalışmada deneysel tasarım yöntemi ile mekanik mukavemetlerin modellenmeye çalışıldığı 5.1045\_00 kalitesidir. Üretimi yapılan kaliteler Yüksek Fırın- Kükürt Giderme İstasyonu - Bazik

Oksijen Konverteri - İkincil Metalurji İstasyonu – Kütük Döküm Makinası - Kütük Isıtma Fırını- Kangal Haddehanesi proseslerinden geçerek üretilmektedir.

Kangal haddehanesinde tavlama 130X130 mm ebatlarına sahip kütük, kaba grupta 9 tezgah sonrası Ø40-45 mm çapa, 1.ara grup 4 tezgah sonrası Ø25 mm çapa, 2.ara grup 2 tezgah sonrası Ø18 mm çapa indirilir. Finish grubunda dikey ve yatay 10 tezgah bulunmakta olup, finish grubunun Ø5,5 mm çapa indirgenen kangal 4 bölgeli soğutma bölgelerinde soğutulmuş hedef sıcaklık olan 880°C ile serme kafadan düşürülmektedir. Hedef mukavemet değerlere bağlı olarak soğuma hızına etki eden konveyör hızı, fan değerleri ayarlanmıştır.

Çalışmada belirtilen 5.1045\_00 kalitesinde hedeflenen çekme mukavemet limiti olan 740-800 MPa aralığında üretim ile standart sapması ve toplam hatalı oranı daha düşük üretim yapılması amaçlanmıştır.

Çalışma öncesinde sabit soğutma hızı ile üretilen kangalların yapılan test sonuçlarına göre standart sapma değeri 21,68 MPa, toplam toplam hatalı oranı %16,99 dur. (Şekil 1)



Şekil 1. Proses Yeterliliği

### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında, çekme mukavemetine etki eden faktörler ve bu faktörlerin düşük-yüksek seviyeleri belirlenerek çekme mukavemeti üzerindeki etkisinin sistematik bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle deney tasarımı yöntemi (Design of Experiment (DOE) tercih edilmiştir. DOE yönetimi ile analiz yapılırken çıktıyı hedeflenen seviyede tutabilmek için faktörlerin hangi seviye olması gerektiği tespit edilebilmektedir.

5.1045\_00 kalitesi % C değeri %0,43-0,47 , %Mn değeri %0,5-0,65 aralığında belirlenen limitler içerisinde olan dökümler ile üretilmektedir.

Çizelge 1. 5.1045\_00 Kalite Standart Kimyasal Kompozisyonu

KALITE	C		Mn		P		S		Si		Cu		Cr		Ni		V		N(ppm)		Ti		Mo		Nb		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
5.1045_00	0,43	0,47	0,50	0,65	0,02	0,02	0,15	0,25	0,12	0,08	0,10	0,01	0,01	90,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Yapılan çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. % C, %Mn ve %Fan deneylerde dikkate alınarak 3 faktörlü, 2 seviyeli, 16 tekrarlı toplam 128 deneylik tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. (Çizelge 2)

Çizelge 2. 5.1045\_00 Kalite Faktörler ve Seviyeleri

Faktör	Düşük	Yüksek
%C	0,43	0,47
%Mn	0,5	0,65
%Fan	35	75

5.1045\_00 kalite deney tasarımı kapsamında 4 dökümde deneme üretimi gerçekleştirilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Hazırlanan deney tasarımı kapsamında üretilen kangalların çekme mukavemetini belirlemek amacıyla belirli sayıda analiz numunesi alınmıştır.

5.1045\_00 kalitesi için oluşturulan deneylerin MiniTab® yazılımı üzerinden analiz edilmesi ile çekme mukavemeti için R<sup>2</sup> (adj) değeri %89,61 olan güçlü bir matematiksel model elde edilmiştir. Modelin standart sapması 10,2 Mpa'dır. (Çizelge 3)

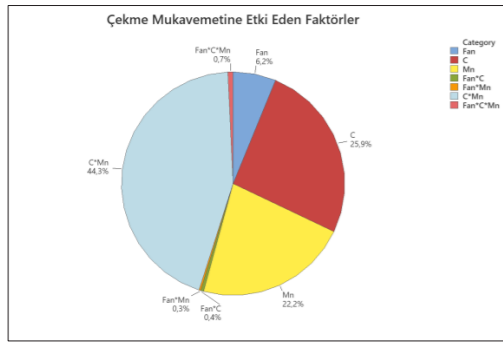
Çizelge 3. 5.1045\_00 kalite Çekme Mukavemeti Matematiksel Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)
10,2	90,03%	89,61%

Deney tasarımı sonucunda elde edilen 5.1045\_00 kalite çekme mukavemeti matematiksel modeli üzerinden doğrulama dökümleri yapılmış ve modelin sürekli kullanımı sağlanmıştır.

**ÇEKME N/mm<sup>2</sup>**=44525 + 44350 Fan - 98035 C - 74200 Mn - 98939 Fan\*C - 75139 Fan\*Mn + 166087 C\*Mn + 167945 Fan\*C\*Mn

Oluşturulan matematiksel modeldeki ana faktörlerin ve kendi içindeki etkileşimlerin sonuçlar üzerindeki etkisi pasta grafiklerinde değerlendirilmiştir. (Şekil 2)

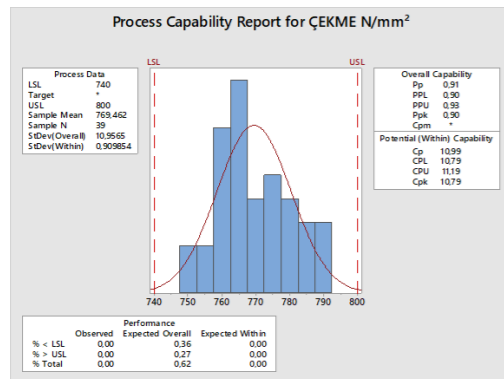


Şekil 2. Çekme Mukavemetine Etki Eden Faktörler

#### 4. Sonuç

5.1045\_00 kalitesinde oluşturulan matematiksel modelleme ile birlikte elde edilen çekme mukavemet değerleri analiz edilmiştir.

Analize bağlı olarak farklı soğutma hızı ile üretilen kangalların yapılan test sonuçlarına göre standart sapma 10,95 MPa, toplam hatalı oranı %0,62 dir. (Şekil 3)



Şekil 3. Çalışma Sonrası Proses Yeterliliği

Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. (Çizelge 4)

- Standart sapma değerinde proje öncesine göre %49,5 oranında iyileşme sağlanmıştır.
- % Toplam hatalı oranı değerinde %96,4'lük bir iyileşme sağlanmıştır.
- Cpk değerinde % 114,3 lük bir iyileşme söz konusudur. Cp ve cpk değeri 1,33'ün üzerinde olup süreç yeterliliği sağlanmıştır.

Çizelge 4. 5.1045\_00 Kalite Standart Kimyasal Kompozisyonu

	Proje Öncesi	Proje Sonrası	İyileşme Oranı	
5.1045_00	Std. Sapma (MPa)	21,68	10,95	49,5
	Limit Dışı Oranı (%)	16,99	0,62	96,4
	cpk	0,42	0,9	114,3

Sonuç olarak;

5.1045\_00 kalite Ø5,5 mm ebat için çekme mukavemeti matematiksel modeli oluşturulmuştur.

- Dökümler arası mukavemet değişkenliğinin azaltılarak müşteri memnuniyetinin artırılması sağlanmıştır.
- Kangallarda mukavemet nedeniyle sapma oranı düşmüştür.
- İSDEMİR'e özgü matematiksel model oluşturulmuştur.
- Oluşturulan matematiksel modele bağlı olarak sahada sistematik çalışma şartları sağlanmıştır.
- Değişken Fan pratikleri ile yaklaşık 525.000 KWh/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır.

## Çelik Endüstrisinde Dijitalleşme

### Digitalization in Steel Industry



#### Ahmet BEŞKARDEŞ

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

Digitalization, which gained momentum with the Industry 4.0 move, is of great importance for production efficiency and sustainability. Digitalization promises better and more diverse product quality, increased production, and efficiency, especially in industries with high production and energy use, such as iron and steel factories. Big data obtained with sensor technology, when processed with digital models and smart control applications, plays a major role in increasing production, reducing costs, and improving quality. Making good use of digital technologies and providing digital transformation by integrating technologies suitable for the needs of the industry, is a must for companies that aim to compete with the world. In this study, the development of digitalization in industrial areas, especially in the steel sector, is explained and the applications made in this field in recent years are explained.

#### Özet

Endüstri 4.0 hamlesiyle önemli bir ivme kazanan dijitalleşme, üretim verimliliği ve sürdürülebilirliği için büyük önem arz ediyor. Dijitalleşme, özellikle demir çelik fabrikaları gibi üretimin ve enerji kullanımının yüksek olduğu endüstrilerde daha iyi ve daha çeşitli ürün kalitesi, üretim ve verim artışı vadetmektedir. Sensör teknolojisi ile elde edilen büyük veri, dijital modeller ve akıllı kontrol uygulamaları ile işlendiğinde üretimin artmasında, maliyetin azalmasında ve kalitenin iyileşmesinde büyük rol oynar. Dijital teknolojileri iyi kullanmak ve sektörün ihtiyaçlarına uygun teknolojileri entegre ederek dijital dönüşümü sağlamak dünya ile rekabet etme hedefindeki şirketler için bir zorunluluktur. Bu çalışmada dijitalleşmenin çelik sektörü özelinde endüstriyel alanlarda gösterdiği gelişim açıklanmakta ve son yıllarda bu alanda yapılan uygulamalar anlatılmaktadır.

#### 1. Giriş

Endüstriler, işlerin yürütülme biçiminde çok önemli değişiklikler ve gelişmeler sağlayan dijitalleşmeyi iş yapış mekanizmalarının merkezine alarak, Endüstri 4.0 olarak ifade edilen yeni bir sanayi devrimine girmiştir [1]. Son zamanlarda nesnelerin interneti (IoT), siber-fiziksel sistemler (CPS), yapay zekâ (AI) uygulamaları ve büyük

veri teknolojileri üretim ortamlarına dahil edilmektedir [2]. Bu teknolojiler sayesinde yoğun veri alışverişi, verilerden anlamlı bilgilerin üretilmesi, bu bilgilerden analitik işlemlerin yapılması ile üretim 'akıllı' hale gelmektedir [3]. Bu itibarla Endüstri 4.0'ın özünün bilgi teknolojisine dayandığı söylenebilir [2].

Endüstri 4.0, kapsamlı ve bütünsel bir yaklaşımla siber ve fiziksel ortamı birbirine bağlar, farklı departmanlar, ürünler, alıcı ve satıcılar arasında daha iyi bir iş birliği ve iletişim sağlar [4]. Bu sayede süreçlerde otomasyon ve optimizasyon sağlanarak maliyetler düşürülerek, üretim hızlandırılarak, hatalar önemli ölçüde azaltılarak üretkenlik ve karlılık artırılabilir [1]. Endüstri 4.0 ile güçlü bir ivme kazanan ve şimdi tüm süreç ve üretim sektörlerini doğrudan etkileyen süreçlerden biri de dijitalleşmedir [5]. Özellikle, çelik endüstrisi gibi üretim miktarının ve enerji kullanımının büyük olduğu endüstrilerde, dijitalleşme, yüksek ve yeni teknolojilerin üretim süreçlerine uygulanmasıyla ilgilidir. Bu bildiride endüstrideki dijitalleşme, dijitalleşmenin demir çelik sektöründe kullanımı ve bu alanda yapılan uygulamalar incelenmiştir.

#### 2. Dijitalleşme

Günümüzde bir işletmenin rekabet gücünün seviyesi, o sektördeki verimlilik ve operasyonel mükemmellik tarafından belirlenir. Bu bağlamda dijitalleşme, kuruluşların rekabet gücünü ayakta tutacak belirleyici ve önemli bir faktör haline gelmiştir [6]. İşletmeler arası bir ortamda değer yaratan üç ana dijitalleştirme işlevi vardır. İlk işlev, bilgileri daha az insan müdahalesi ile elde edebilmek için yapılandırılan sensörler aracılığıyla proses verilerinin toplanmasıdır. İkincisi, kablosuz iletişim ağları aracılığıyla dijital birimler arasında veri paylaşımının sağlanmasıdır. Üçüncüsü ise, mevcut verileri doğru yöntemlerle değerli iç görüleri ve karar mekanizmalarına dönüştürme yeteneğidir [1]. Bu işlevler, dijitalizasyona adapte olmuş işletmeler için sayısız fırsatlar sunar [3], proses izlemeden karar ve kontrole, sonrasında optimizasyona doğru ilerleyen ve sonunda otonom ürünlere yol açan bir ilerleme sağlar [7].

Dijitalleştirme, dijitalleşme ve dijital dönüşüm birbiri ile karıştırılmaması gereken üç ayrı kavramdır. Dijitalleştirme, basılı bir dokümanın taranarak bilgisayar ortamına aktarılması örneğinde olduğu gibi analog verilerin dijital

forma dönüştürülmesidir [8]. Dijitalleşme, iş fonksiyonlarının ve iş modellerinin dijital olanlara dönüştürülmesini ifade etmektedir. Dijital teknolojiler gelir elde etmeyi, işi iyileştirmeyi, iş süreçlerini geliştirmeyi ve dijital iş için bir ortam oluşturmayı amaçlar [5]. Dijital dönüşüm ise sektörel ihtiyaçlara dijital teknolojilerin ve iş süreçlerinin entegrasyonu olarak ifade edilir [9].

Dijitalleşme kapsamında geliştirilen teknolojiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Nesnelerin İnterneti (IoT): IoT, sensörlerin veya diğer dijital cihazların veri toplama ya da gönderme amacıyla ağa bağlandığı bir sistemi ifade eder. Bir IoT sisteminin bileşimi dört katmanla karakterize edilebilir: Algılama, ağ, hizmet kaynağı ve uygulama katmanları [5].
- Büyük Veri ve Bulut Bilişim: Çok büyük ölçüde veri üreten imalat endüstrilerinde, geleneksel (ilişkisel) veri tabanı teknolojisi, büyük hacimli yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerin depolanmasını, yönetilmesini ve analizini gerçekleştirirde bazı zorluklar yaşayabilir. Büyük veri teknolojisi ile farklı kaynaklardan gelen farklı tipteki veriler birden fazla sunucu üzerinde paralel işlem teknikleri ile hızlı bir şekilde işlenebilir. Bunun yanında farklı veri türlerinden önemli bilgiler elde etmek bu bilgiler sayesinde iç görü kazanmak ve kesin karar verme yeteneklerine sahip olmak için makine öğrenmesi tabanlı modeller kullanılır. Makine öğrenmesi modelleri mevcut verilerden yararlı bilgilerin çıkarılması, üretim veriminin artırılması [10] ya da ürün kusurlarının tespiti gibi konularda önemli destekler sağlayabilirler [5].
- Robotik Uygulamalar: Bu teknoloji, montaj ve paketleme gibi işlemleri gerçekleştirmek için robotların kullanımını sağlamaktadır. Son yıllarda imalat endüstrisinde daha yüksek kalite, daha hızlı teslimat süresi ve maliyetlerin azalmasına yönelik olarak, otomasyon ve robotik giderek daha fazla önem kazanmıştır.
- Simülasyon ve Dijital İkiz: Üretim öncesinde tasarım ve operasyonlardaki olası değişiklikleri araştırmak ve buna göre karar destek mekanizmalarını geliştirme amaçlı kullanılmaktadır [11].
- Dikey ve Yatay Entegrasyon: Yatay entegrasyon, tüm üretim zinciri boyunca sistemlerin entegrasyonunu, dikey entegrasyon ise sahadaki sensörden ERP sistemine kadar uzanan otomasyon piramidindeki sistemlerin entegrasyonunu ifade eder [12].
- Kestirimci Bakım: Ekipmanların uzaktan izlenmesi ve verilerinin kayıt altına alınması sayesinde arıza öncesi tespit ve onarım mümkün olur. Kestirimci bakımda veriye dayalı makine öğrenmesi yöntemleriyle beraber ileri seviye

kontrol mekanizmaları birlikte kullanılır. OYAK Maden ve Metalürji grubunda kestirimci bakım işlemi profesyonel yazılım olanakları ile başarıyla uygulanmaktadır.

- Artırılmış Gerçeklik ile Çalışma: İşletme rehberliği ve uzaktan yardım gibi kolaylıklar sağlayan artırılmış gerçeklik özellikle bakım hizmetlerini geliştirmek için şirketler için en ilginç etkinleştirme teknolojilerinden biridir. Örneğin, uzaktan bağlantıya dayalı uzaktan bakım, sisteme sanal olarak bağlı bir servis teknisyeni tarafından gerçekleştirilebilir [5].

Dijitalleşme ile gelen ileri düzey otomasyon ve dijital modeller, çalışanların önemli bilgilere hızlı erişimini sağlayarak üretkenliği artırabilir. Bu bilgiler sayesinde karar verme ve sorun giderme süresi kısaldır. Dijital verileri alma, işleme ve analiz etme, hızlı karar vermenin yanı sıra dijital modeller sayesinde süreç davranışının daha iyi tahmin edilmesini sağlayabilir [5]. Dijital modellerle birlikte kalite, üretim planlama ve kontrol sistemleriyle birleştirilen otomasyon teknolojisi, ürün kalitesinde, üretim maliyetinin azaltılmasında ve verimliliğin artmasında önemli faydalar sağlar [12]. Ayrıca dijitalleşme ile daha güvenli çalışma koşulları oluşturulur, üretim alanları arasında daha yüksek bir etkileşim kurulur [6]. Örneğin sensörler, bir çalışanın yasak bir alana girdiğini tespit ettiğinde bir işlemi durdurabilir [1]. Demir çelik tesisinde ya da yeraltı madenciliğinde tehlikeli işler, uzaktan çalıştırılan makineler kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Benzer şekilde, makinelerin manuel olarak çalıştırılması, ürüne marka vurulması, bir takım kalite kontrol işleri, monoton izleme görevleri gibi sürekli tekrar eden düşük vasıflı işler otomatik olarak yapılarak çalışanların daha bilgi yoğun işlere sevk edilmesi sağlanabilir [13].

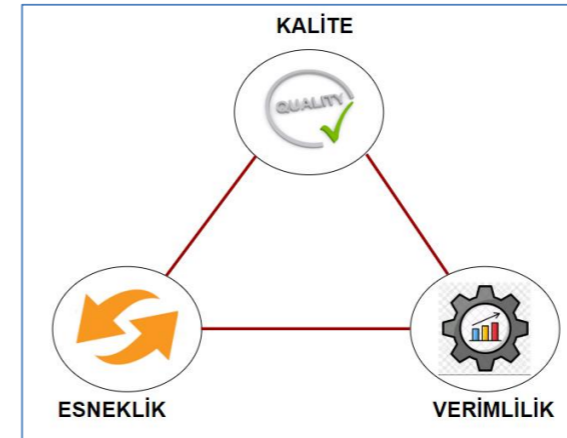
Şirketler için böylesine büyük imkanlar vadeden dijitalleşmenin uygulanması zorlu bir girişimdir ve bu organizasyonu olgunlaştırmak için sürekli bir taahhüt ve kararlılık gerekir [1]. Bu yeni teknolojinin benimsenmesi ve uygulanmasında şirketlerin karşı karşıya kaldıkları zorluklar şöyle özetlenebilir:

- Siber-fiziksel sistemlerde fiziksel varlıklarla sanal modellerinin sayısız yollarla etkileşimi vardır ve bu yüzden bunları yönetmek zordur [14].
- IoT uygulamalarından üretilen büyük miktardaki verileri analiz etmek için veri bilimi ve veri analitiği teknikleri geliştirilmeli ve kullanılmalıdır. Farklı kaynaklardan gelen verilerin entegre edildiği uygulamaları geliştirmek zorlu bir görev olabilir [4].
- Küçük ve orta ölçekli işletmelerde, eski makinelerin bağlantı yeteneğinin sınırlı olması sebebiyle proses verilerini toplamayı otomatik hale getirmek zordur [15].
- Mevcuttaki emektar makineler, üretim kalitesini ve verimliliğini garanti ettikleri için fabrikalarda

hala önemli bir rol oynamaktadır. Bu eski makinelerin yükseltilmesi maliyetli ve zaman alıcıdır [4].

### 3. Çelik Endüstrisinde Dijitalleşme

Çeliğin üretim süreci çok karmaşık bir süreçtir ve bu nedenle çelik üretiminde sürekli yeni teknolojilerin uygulanması gerekir. Şekil 1'de gösterildiği gibi, çelik üretiminin dijitalleştirilmesi, çelik üreticilerinin kalite, esneklik ve verimlilik konularında gereksinimlerini karşılamak için yeni teknolojilerin uygulanması olarak görülebilir. Kalite, vaat edilene uygunluktur ve çelik üreticilerinin dar tolerans bantları ve yüksek seviyede tekrarlanabilirlik ile aynı ürünü üretebilmesini ifade eder. Esneklik çok küçük partilerde ve çok çeşitli çelik kalitelerinde ürünler üretebilmek için tesislerin esnekliğini anlatır. Verimlilik ya da üretkenlik ise tesisin kullanılabilirliği, işletme ve bakım maliyetlerinin düşüklüğü ve iş hacmi gibi konuları kapsar [12].



Şekil 1. Çelik üreticilerinin dijital dijitalleşmeden beklentisi.

Çelik endüstrisi enerji yoğun bir endüstri olmanın yanında dijital teknolojinin kullanımına bağlı olarak yüksek katma değerli üretim sağlayan, enerji ve CO<sub>2</sub> emisyonu yönüyle verimli bir sektördür [5]. Bu anlamda dijital teknolojilerin çelik üretim süreçlerine çok önemli katkıları vardır. Porzio ve diğerleri geçmiş verileri değerlendiren, bunları simüle eden ve sorusunda elde ettiği iç görü ile enerji tüketimini ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltan bir karar destek mekanizması kurmuştur [16]. Zhou ve diğerleri yassı haddelenmiş çelik üretiminde ısıtma fırınındaki prosesin daha iyi anlaşılması için geliştirdiği simülasyonla önemli tasarruflar sağlamıştır [17]. Beşkardeş ve Çevik, İSDEMİR sinter tesisi için geliştirdikleri modellerle kok yakıtını [18] ve harman nemini [19] yöneterek verimliliğe önemli katkılar yapmıştır. Zhang ve diğerleri Çin'deki bir demir çelik fabrikasının baştan sona malzeme-enerji bağlantı akışını sağlayan bir model tasarlayarak enerji kullanımını azaltmış, CO<sub>2</sub> emisyonunu düşürmüştür [20].

Çelik endüstrisinde çevreye duyarlı üretim yapmak, iş güvenliği risklerini azaltmak, enerjiyi tasarruflu kullanmak, CO<sub>2</sub> emisyonunu düşürmek ve kaliteden ödün vermeden verimli üretim yapmak için dijital teknolojileri kullanmak bir zorunluluktur. Bu bağlamda, demir çelik endüstrisinde dijital teknolojilerden beklentiler ve bunların gelişim alanları şöyle tanımlanabilir:

Birincisi, birbirine bağlı cihazlarla verinin toplanması, işlenmesi ve kaydedilmesidir. Fiziksel ekipmanlara çok sayıda sensörün eklenmesi ve bunların IoT ile bilgi sistemlerine aktarılması giderek yaygınlaşmaktadır [6].

İkincisi, bu bilgilerin analiz edilmesi, veriden çıkarımlar yapılarak gelecek için öngörde bulunulması ve ileri kontrol teknikleri ile karar mekanizmalarının oluşturulmasıdır. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi konularında alınan mesafeler diğer sektörlerde olduğu gibi demir çelik sektöründe de sürekli desteklenmektedir.

Üçüncüsü, otonom ekipmanların yani robotların kullanılması ile dijital dönüşümün sağlanmasıdır. Yapay zekâ teknolojisindeki gelişmeler, robot makinelerin yeteneklerini artırmakta kullanım alanlarını genişletmektedir.

Dördüncüsü dijital ikiz veya dijital kopya olarak anılan sistemlerle akıllı üretimin gerçekleştirilmesidir [21]. Şu anda IoT uygulayan işletmelerin %75'inin dijital ikiz kullandığı bilinmekte ve bunun önümüzdeki yıllarda daha da artacağı değerlendirilmektedir [22].

Beşincisi, artırılmış gerçeklik teknolojisiyle makinelerin uzaktan teşhisi, uzaktan bakım ve yardım gibi uygulamalar teknoloji şirketleri için yeni iş modelleri ve fırsatların oluşmasına, demir çelik firmaları için ise işin hızlı yapılmasına yol açabilir.

Görüldüğü üzere dijitalleşme, çelik endüstrisinin karşı karşıya olduğu zorlukların üstesinden gelmek için önemli kolaylıklar sunmaktadır. Şirketler hem karlılık, verimlilik gibi alanlarda geri kalmamak hem de çevre, iş güvenliği ve emisyon gibi konularda beklentileri karşılayabilmek için dijitalleşmeye büyük önem vermelidirler.

### 4. Sonuç

Demir çelik sektöründe dijitalleşmenin başarılı bir şekilde uygulanması için bilgi sistemlerinin standardizasyonuna, daha vasıflı ve teknik altyapısı yüksek çalışanlara, geliştirici ya da kullanıcı olarak dijital teknoloji alanında yatırımlara ihtiyaç vardır. Demir çelik sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için çevresel kısıtlamalara uyarak üretim yapması gerekmektedir. Bunun yanında enerji talebindeki artış ve düşük karbonlu çeliğe yönelik ile başa çıkmak için dijital teknolojileri uygulamak çelik sektörü için bir zorunluluk



teşkil etmektedir. Dijital teknolojilere yatırım yapan, çalışanlarını bu teknolojiye hazırlayan işletmeler önümüzdeki yıllarda önemli avantajlar sağlayacaktır.

#### Referanslar

- [1] V. Parida, D. Sjödin, ve W. Reim, "Reviewing Literature on Digitalization, Business Model Innovation, and Sustainable Industry: Past Achievements and Future Promises," *Sustainability*, 11 (2019).
- [2] F. Zhou ve diğerleri., "A survey of visualization for smart manufacturing," *J. Vis.*, 22 (2019) 419–435.
- [3] S. Lenka, V. Parida, ve J. Wincent, "Digitalization Capabilities as Enablers of Value Co-Creation in Servitizing Firms," *Psychol. & Mark.*, 34 (2017) 92–100.
- [4] S. I. Shafiq, E. Szczerbicki, ve C. Sanin, "Proposition of the methodology for Data Acquisition, Analysis and Visualization in support of Industry 4.0," *Procedia Comput. Sci.*, 159 (2019) 1976–1985.
- [5] T. A. Branca, B. Fornai, V. Colla, M. M. Murri, E. Streppa, and A. J. Schröder, "The Challenge of Digitalization in the Steel Sector," *Metals (Basel)*, 10 (2020).
- [6] Tyuleneva, Tatiana, "Problems and Prospects of Regional Mining Industry Digitalization," *E3S Web Conf.*, 174 (2020) 4019.
- [7] J. E. Porter, Michael E ve Heppelmann, "How smart, connected products are transforming companies," *Harv. Bus. Rev.*, 93 (2015) 96–114.
- [8] S. Schumacher, Andreas ve Sihm, Wilfried and Erol, "Automation, digitization and digitalization and their implications for manufacturing processes," 2016.
- [9] S. Ziyadin, S. Suieubayeva, ve A. Utegenova, "Digital Transformation in Business," *Digital Age: Chances, Challenges and Future*, (2020) 408–415.
- [10] A. Mallick, S. Dhara, ve S. Rath, "Application of machine learning algorithms for prediction of sinter machine productivity," *Mach. Learn. with Appl.*, 6 (2021).
- [11] C. Cimino, E. Negri, ve L. Fumagalli, "Review of digital twin applications in manufacturing," *Comput. Ind.*, vol. 113 (2019) 103–130.
- [12] K. Herzog ve diğerleri., "The Digitalization of Steel Production," *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 162 (2017) 504–513.
- [13] S. Pfeiffer, "The vision of 'Industrie 4.0' in the making—a case of future told, tamed, and traded," *Nanoethics*, 11 (2017) 107–121.
- [14] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, ve S. T. Newman, "Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review," *Engineering*, 3 (2017) 616–630.
- [15] S. I. Shafiq, C. Sanin, E. Szczerbicki, ve C. Toro,

- "Towards an experience based collective computational intelligence for manufacturing," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 66 (2017) 89–99.
- [16] G. F. Porzio ve diğerleri., "Reducing the energy consumption and CO2 emissions of energy intensive industries through decision support systems – An example of application to the steel industry," *Appl. Energy*, 112 (2013) 818–833.
  - [17] C. Zhou, J. Wang, G. Tang, J. Moreland, D. Fu, ve B. Wu, "Integration of Advanced Simulation and Visualization for Manufacturing Process Optimization," *JOM*, 68 (2016) 1363–1369.
  - [18] A. Beşkardeş ve S. Çevik, "Coke optimization with machine learning method in sinter plant," 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 2016, Bursa Türkiye.
  - [19] A. Beskardes ve S. Cevik, "Fuzzy logic based moisture control in sinter plant," 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, 2018, İzmir, Türkiye.
  - [20] Q. Zhang, Z. Wei, J. Ma, Z. Qiu, ve T. Du, "Optimization of energy use with CO2 emission reducing in an integrated iron and steel plant," *Appl. Therm. Eng.*, 157 (2019).
  - [21] G. Shao ve M. Helu, "Framework for a digital twin in manufacturing: Scope and requirements," *Manuf. Lett.*, 24 (2020) 105–107.
  - [22] G. Costello, Katie ve Omale, "Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use," *Gart. Inc.*, 30 (2019).

## Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Bobinlerdeki Göçüklük Durumunun Tahmini

### Prediction of Coil Slumping by Machine Learning Method



**Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER**  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

The slumping event that occurs in the coils, which is one of the final products of iron and steel plants, is an important quality defect. When a coil can no longer lift its own mass, it collapses and loses its circular shape. The reason for the collapse may be the size, weight of the coil, improper production parameters, and equipment. In this study, a machine learning application is introduced to predict the slumping risk of coils produced in Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) hot rolling mills and to prevent defective coil shipment to the customer. This application contains separate models for different qualities and these models are constantly updated according to new production data. The classification of the coils is done with a Bayesian network, which is a successful and common classification method. With this application, coils with slumping defects can be detected beforehand with an average of 90% success in different qualities.

#### Özet

Demir çelik tesislerinin nihai ürünlerinden biri olan bobinlerde meydana gelen göçüklük olayı önemli bir kalite kusurudur. Bir bobin kendi kütleini kaldıramadığında ve dairesel formunu kaybettiğinde çökme meydana gelir. Çökmenin sebebi, bobinin boyutu, ağırlığı, uygunsuz üretim parametreleri ve ekipmanları olabilir. Bu çalışmada İskenderun Demir Çelik A.Ş. (İSDEMİR) sıcak haddehanelerinde üretilen bobinlerin göçüklük riskini önceden tahmin ederek müşteriye kusurlu bobin sevkini önleyecek bir makine öğrenmesi uygulaması tanıtılmaktadır. Bu uygulama, farklı kaliteler için ayrı ayrı modeller içerir ve bu modeller yeni üretim verilerine göre kendini sürekli günceller. Bobinlerin sınıflandırılması başarılı ve yaygın bir sınıflandırma yöntemi olan Bayes ağı ile yapılmıştır. Bu uygulama ile farklı kalitelerde ortalama %90 oranında başarı ile göçüklük kusuru bulunan bobinler önceden tespit edilebilmektedir.

#### 1. Giriş

Sıcak haddehanede üretilen bobinler, entegre demir çelik fabrikalarının nihai ürünlerindedir. Demir cevheri, yoğun

emek, işgücü, enerji ve zaman gerektiren birçok aşamalardan geçerek bobin halini alır ve beyaz eşya, otomotiv ve gemi gibi endüstriler için girdi malzemesi hüviyetini kazanır. Doğal olarak satış aşamasına gelmiş bir üründe oluşacak üretim ve kalite kusurları hiç istenmeyen bir durumdur. Bunun için işletme ve kalite kontrol ekipleri böyle kusurlar gerçekleşmeden ya da en azından aynı kusurun bir daha tekrarı yaşanmadan gerekli önlemleri almaya çalışır.

Sıcak haddehanede üretimin son aşamasında meydana gelebilecek olan kusurlardan biri de bobinlerdeki göçüklük kusurudur. Çelik şerit bir mandrele sarılıp bobin haline getirildikten sonra mutlaka bir miktar çökecektir. Ancak çoğu zaman çökme miktarı o kadar az olur ki bunun meydana gelmediği var sayılır [1]. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bobinin sonraki aşamalarda kullanımını engelleyecek kadar silindirik deliğin formunun bozulmasına sebep olan durum, önlem alınması gereken bir kusur olarak değerlendirilir. Göçüklüğün meydana gelmesinde bobinin boyutu ve ağırlığı, uygun olmayan sarma gerilimleri, sarıcı ekipman tasarımı, çelik şerit özellikleri, şeritler arasındaki temas, çelik içeriğindeki karbon, azot, mangan ve bor gibi elementlerin oranı gibi faktörlerin olduğu belirtilmiştir [1][2][3].

Göçüklük kusurunun tespitine yönelik Anderssen ve diğerleri geometrik bir bakış açısıyla yerçekiminden kaynaklı potansiyel enerjiyi dikkate alarak modelledikleri çalışmada bobin kütlesi, şerit kalınlığı ve şeritler arası sürtünmenin etkisini göstermişlerdir [1]. Banks ve diğerleri ise bobin çökmesinde östenit dönüşümünün etkisi ile ilgilenmiş, çelikteki azot ve karbon içeriklerinin sonuca etkisini değerlendirmiştir [2]. Bir başka çalışmada Smolinski ve diğerleri mekanik bir bakış açısıyla ince malzemelerin gerilme ve deformasyon analizi için bir model geliştirmiştir [3]. İSDEMİR sıcak haddehaneleri için geliştirilen bu çalışmamızda diğerlerinden farklı bir yaklaşımla geliştirilen, sıcak haddehane proses verilerine dayalı bir makine öğrenmesi yöntemiyle bobinlerdeki göçüklük kusurunu tahmin eden bir model uygulama yazılımı anlatılmaktadır. Bu uygulama, önceki verilerden hareketle mevcut proses verilerine göre bir bobinin göçüklük kusuruna sahip olup olmayacağını tahmin etmekte, ayrıca göçük kusuruna sahip

olan bir bobinin normal olan bobinlerden farkını ortaya koymaktadır. İSDEMİR sıcak haddehanesi için geliştirilen ve Göçük Tespit Modeli adı verilen bu yazılımın iki amacı vardır: Birincisi proses parametrelerine bakarak bir bobindeki göçüklük kusurunu tahmin etmektir. Bu sayede müşteriye kusurlu ürünün gitmesi engellenecek ve kalite kontrol ekipleri bobinleri kontrol etme zahmetinden kurtulacaktır. İkincisi göçük kusuruna sebep olan faktörleri tespit etmek ve bunlarla ilgili düzeltici ve önleyici faaliyetlerin yapılmasını sağlamaktır.



Şekil 1. Göçük kusuru oluşmuş bir bobin.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde bobin göçüklük tahmini için değerlendirilecek proses parametreleri, bu parametrelere ait verilerin elde edilmesi ve tahmin işlemini yapan matematiksel modeller tanıtılacaktır.

### 2.1. Göçüklük tahmini için değerlendirilecek parametreler

Makine öğrenmesi yöntemiyle bir bobinin göçüklük durumunu tahmin etmek için slab ve bobine ait ebat bilgileri, kimyasal analiz değerleri ve bobin hattına ait proses parametreleri değerlendirilmeye alınmıştır. Bobinlere ait veriler toplanırken bu parametreler her kalite için ayrı değerlendirilmekte yine veri sınıflandırması sırasında bobin kalınlık ve genişliği de dikkate alınmaktadır.

### 2.2. Verilerin elde edilmesi

Bu çalışmada kullanılan veriler İSDEMİR Seviye 3 sisteminden veri tabanı haberleşmesi yoluyla otomatik olarak alınmaktadır. Modelin eğitimi için gereken veriler bir ya da birkaç yıllık getirilebilmekte ayrıca bu veriler haftada bir güncellenmektedir. Her hafta, hem son haftaya ait yeni proses verileri sisteme eklenmekte hem de kalite ekipleri tarafından bobinlerin göçük ya da normal olarak sınıflandırmasına ait etiket bilgisi alınmaktadır. Bu sayede geliştirilen modelin adaptif (uyarlanabilir) olması sağlanmaktadır.

### 2.3. Sınıflandırma yöntemi

Üretilen bobinlerin proses parametrelerine bağlı olarak göçük ya da normal olarak sınıflandırılması Bayes Ağı adı verilen sınıflandırma yöntemine göre yapılmıştır. Bayes teoremi, rastgele bir süreç sırasında rastgele iki farklı olayın koşullu ve marjinal olasılıkları arasındaki ilişki esasına dayanır ve şöyle ifade edilir:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Burada  $P(A)$  ve  $P(B)$  terimleri sırasıyla A ve B için marjinal olasılık değerleridir.  $P(A/B)$  terimi verilen B için A'nın koşullu olasılık değeridir.  $P(B/A)$  terimi verilen A için B'nin koşullu olasılık değeridir [4]. Bayes teoremine dayanan Bayes Ağı tıp, biyoizleme, belge sınıflandırma, bilgi erişimi, görüntü işleme, e-posta filtreleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır [5]. Demir çelik sektöründe ise Pernkopf çelik blokların yüzey kusurlarını tespit etmek [6], Leu ve Chang çelik bina inşaatındaki emniyet risklerini değerlendirmek [7], Zhang ve arkadaşları çelik haddeleme sisteminde su soğutma sisteminin kontrolünün optimizasyonu [8] ve Liu ve arkadaşları ise sıcak metaldeki silikon içeriğini tahmin etmek için Bayes Ağlarını kullanmışlardır.

### 2.3. Modelin çalışması

İSDEMİR sıcak haddehanesi için geliştirilen Göçük Tespit Modeli, Bayes Ağı yöntemi temelli sınıflandırma algoritmasına göre çalışan bir bilgisayar yazılımıdır. Bu model üretilen her bobine ait proses verilerini belirlenen çelik kalitelere göre alt veri setlerine bölerek bir eğitim veri seti oluşturur ve bu veri setini haftada bir defa günceller. Her haftanın başında güncellenmiş son bir yıllık veriye göre çelik kalitesi sayısınca oluşturduğu Bayes tabanlı sınıflandırma modellerini eğitir ve bu eğittiği modeller üzerinden üretilen her bobin için 'Normal' ya da 'Göçük' olmak üzere bir sınıflandırma sonucu üretir. Yüksek doğrulukla gerçekleştirdiği bu tahmin sayesinde bu bobini fiziksel olarak kontrol etmeye gerek kalmaz.

Göçük Tespit Modeli her saatin sonunda, o saat içinde üretilmiş bobinlerle ilgili tahmin işlemini gerçekleştirdikten

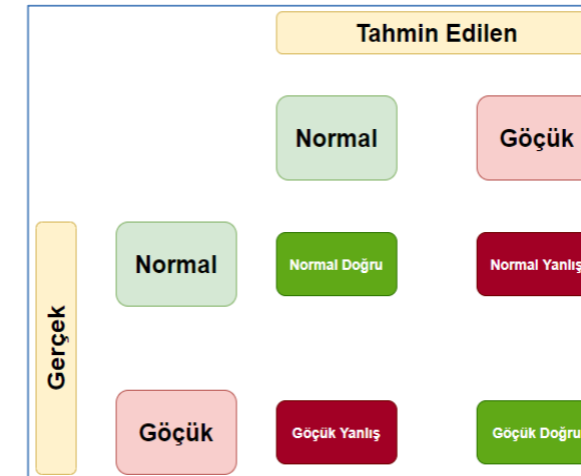
sonra eğer göçük riskli bobin bulmuşsa bu durumu işletme ve kalite ekiplerine e-posta ile raporlar. Ayrıca gün sonunda o gün içinde üretilen bobinler için yaptığı tahminleri toplu olarak raporlar. Şekil 2'de modelin risk tespit ettiği bobinler için gönderdiği rapor gösterilmektedir.

Göçük Tespit Modelinin diğer bir işi de aynı kalite ve ebatlardaki göçük bobinlerle normal bobinlerin farkını parametre bazında kıyaslamaktır. Şekil 3'te uygulamanın ürettiği rapor gösterilmektedir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Sınıflandırma problemlerinin çözümü için geliştirilen modellerin başarısını ölçmek için genellikle karışıklık (hata) matrisi kullanılır [9]. Karışıklık matrisi bobin göçüklük sınıflandırması özelinde Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere Normal Doğru (ND), gerçekte 'Normal' olan bir bobinin 'Normal' olarak tahmin edildiğini, Göçük Doğru (GD), gerçekte 'Göçük' olan bir bobinin 'Göçük' olarak tahmin edildiğini, Normal Yanlış (NY) gerçekte 'Normal' olan bir bobinin 'Göçük' olarak tahmin edildiğini ve Göçük Yanlış (GY) gerçekte 'Göçük' olan bir bobinin 'Normal' olarak tahmin edildiğini gösterir.

Sınıflandırma işlemi yapan modellerin doğruluğunun hesaplanmasında genel doğruluk oranı, hassasiyet, yaygınlık, F puanı, ROC eğrisi gibi ölçütler kullanılır [9]. Bu çalışmada Göçük Tespit Modelinin başarı ölçütünü hesaplamak için literatüre uygun olarak genel doğruluk oranı (general accuracy), hassasiyet (precision) ve duyarlılık (recall) değerleri kullanılmıştır. Bu başarı parametrelerinin nasıl hesaplandığı Eşitlik 2-7'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Karışıklık matrisi

$$\text{Toplam} = ND + NY + GY + GD \quad (2)$$

$$\text{Genel Doğruluk} = (ND+GD) / \text{Toplam} \quad (3)$$

$$\text{Normal İçin Hassasiyet} = ND / (ND+GY) \quad (4)$$

$$\text{Normal İçin Duyarlılık} = ND / (ND+NY) \quad (5)$$

$$\text{Göçük İçin Hassasiyet} = GD / (GD+NY) \quad (6)$$

$$\text{Göçük İçin Duyarlılık} = GD / (GD+GY) \quad (7)$$

Yukarıda verilen eşitliklere göre Göçük Tespit Modelinin bazı kalitelere ve tüm kalitelerin ortalamasına ait ulaştığı son altı aylık ortalama doğruluk değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Göçük Tespit Modelinin başarı göstergeleri.

Kalite	Genel Doğruluk Oranı [%]	Normal için Hassasiyet	Normal için Duyarlılık	Göçük için Hassasiyet	Göçük için Duyarlılık
5630	87,51	0,62	0,81	0,57	0,79
6050	85,72	0,99	0,85	0,30	0,94
7659	89,77	0,95	0,90	0,36	0,68
6252	94,55	0,99	0,95	0,26	0,73
4955	98,33	0,99	0,98	0,31	0,46
Tümü	97,44	1	0,97	0,06	0,75

Çizelge 1 'de Göçük Tespit Modelinin bazı kalitelere ait altı veri kümeleri ve tüm veri kümesine ait elde ettiği sonuçların son altı aylık ortalama değerleri gösterilmektedir. Görüldüğü gibi genel isabet oranı %90 seviyelerindedir. Normal olarak sınıflandırılan bobinlerde hassasiyet ve duyarlılık değerleri yüksektir. Göçük bobinlerde de duyarlılık değeri iyidir. Ancak hassasiyet değeri düşük seyretmiştir. Hassasiyetin düşük olması, gerçekte 'Normal' olan bazı bobinleri modelin 'Göçük' olarak sınıflandırmasından kaynaklanır. Fakat bu durum, işletme ve kalite ekiplerimiz açısından çok sorun teşkil etmez. Asıl önemli olan modelin 'Göçük' olan bir bobini kaçırmamasıdır. Bunun derecesini duyarlılık ölçütü gösterir ve modelimizin duyarlılığının hem normal hem de göçük bobinler için iyi olduğu görülmektedir.

## 4. Sonuç

Bu bildiride İSDEMİR Sıcak Haddehanesi için geliştirilen Seviye 2 Göçük Tespit Modeli uygulaması anlatılmıştır. Bu uygulama proses verilerini bilgi yönetim sisteminden otomatik olarak almakta, aldığı verileri Bayes Ağı tabanlı bir sınıflandırma algoritması ile değerlendirmekte ve üretilen bobinin 'Normal' ya da 'Göçük' olmasını kalite ekiplerinin kontrolünden önce tahmin edebilmektedir. Uygulamadan elde edilen sonuçlar uygulamanın ve içinde barındırdığı modellerin güvenilirliğini kanıtlamıştır.

## Referanslar

- [1] B. Anderssen, N. Fowkes, R. Hickson, ve M. Mcguinness, "Analysis of coil slumping," 2010.
- [2] K. Banks, A. Tuling, ve B. Mintz, "Influence of chemistry and runout table parameters on hot coil collapse in C-Mn steels," *Ironmak. & Steelmak.*, 38 (2011) 204-210.
- [3] P. Smolinski, C. S. Miller, R. D. Marangoni, ve D.

- Onipede, "Modeling the collapse of coiled material," *Finite Elem. Anal. Des.*, 38 (2012) 521–535.
- [4] <https://veribilimcisi.com/2017/07/20/bayestoremi-ve-bayes-agi-bayes-theorem-bayesian-network/>16.02.2022.
- [5] <https://data-flair.training/blogs/bayesian-network-applications/>16.02.2022.
- [6] F. Pernkopf, "Detection of surface defects on raw steel blocks using Bayesian network classifiers," *Pattern Anal. Appl.*, 7 (2004) 333–342.
- [7] S.-S. Leu ve C.-M. Chang, "Bayesian-network-Based safety risk assessment for steel construction projects," *Accid. Anal. Prev.*, 54C (2013) 122–133.
- [8] C. Zhang, G. Tan, ve X. Shi, "Research on the optimization of water-cooling control in high-speed steel rolling system based on Bayesian network," *The Fourth International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 2011 374–376.
- [9] <https://veribilimcisi.com/2017/07/18/karisiklik-matrasi-nedir/>16.02.2022.

Sıra	Oluşturulma Zamanı	Test Zamanı	Bobin No	Sınıf	Kalite
1	07.01.2022 15:49:25	07.01.2022 16:01:02	22250274400000	Göçük	5234

Göçük riskli olarak sınıflandırılan bobinlere ait detaylar:

Sıra	Oluşturulma Zamanı	Test Zamanı	Bobin No	Sınıf	Kalite
1	07.01.2022 15:49:25	07.01.2022 16:01:02	22250274400000	Göçük	5234

22250274400000 numaralı bobinin aynı kalitedeki diğer normal bobin ortalamalarından farklı olan parametreleri :

Bobinin karbon analizi ortalamadan % 13.7 oranında farklı. Bu parametreye ait değerler [Mak-Ort-BU-Min]: [0.1381 - 0.0542 - 0.0468 - 0.0285]

Bobinin bor analizi ortalamadan % 50 oranında farklı. Bu parametreye ait değerler [Mak-Ort-BU-Min]: [0.004 - 0.0002 - 0.0003 - 0]

Bobinin azot analizi ortalamadan % 12.8 oranında farklı. Bu parametreye ait değerler [Mak-Ort-BU-Min]: [0.0119 - 0.0047 - 0.0041 - 0.002]

Şekil 2. Göçük Tespit Modelinin kusurlu bobin için otomatik gönderdiği rapor

Araştırılacak Bobinler		Göçük Detay Raporu	
Bobin No		4234 kalitesine ait 57833 adet kayıt var.	
		Bu kalitede 44 adet göçük olarak etiketlenmiş bobin var.	
		22161608600000 numaralı bobinin normal bobinlerden farkı: (Yüzde 10 üzerinde fark olanlar)	
		Azot_diff	-12.766
		DusluMasaSogumaHiz_diff	-100
		AvgCoilerTemp14_diff	-48.2
		22161608600000 numaralı bobinin normal bobinlerden farkı: (Yüzde 10 üzerinde fark olanlar)	
		Azot_diff	-12.766
		DusluMasaSogumaHiz_diff	-100
		AvgCoilerTemp14_diff	-48.2
		22161608600000 numaralı bobinin normal bobinlerden farkı: (Yüzde 10 üzerinde fark olanlar)	
		Azot_diff	-12.766
		DusluMasaSogumaHiz_diff	-100
		AvgCoilerTemp14_diff	-48.2
		22161608600000 numaralı bobinin normal bobinlerden farkı: (Yüzde 10 üzerinde fark olanlar)	

Şekil 3. Normal ve göçük bobinlerin parametre bazında karşılaştırılması

## Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Çelik Saclarda ACB (Anti-Coil Breaker) Sistemi ile Rulo Kırığı Kusurunun Giderilmesi

Prevent Coil Break Defect on Hot Rolled Low Carbon Steel Strip with Use ACB (Anti-Coil Breaker)



Erhan SELVİ, Koray ARAY, Serkan Sıkı ARDA, Hasan YILDIRIM  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Within the company of İsdemir hot rolling strip mill which has a capacity of approximately 3,500,000 tons. Produced coils can be sent to the Coil Recoiling line in order to surface control, sorting, rewinding. In hot rolled low carbon steel, during the re-coiling (cutting-slitting-rewinding) process, perpendicular (irregular) coil break to the rolling direction may occur. On the İsdemir Hot Rolling Mill region, ACB (ANTI-COIL BREAKER) system perform was examined with parameters of re-coiling temperature, line speed - tension, ACB roller diameter - position - pressure, line centering, re-coiling mandrels synchronization, which are effective in the formation of coil break in the next lines. In this study, it was aimed to decrease the coil break efficiency of hot rolled low carbon steel strip with ACB (ANTI-COIL BREAKER) as well as optimum line parameters.

**Keywords:** Hot Rolling, Coil Break, Low Carbon, ACB (ANTI-COIL BREAKER), Re-coiling

### Özet

İsdemir yaklaşık 3.500.000 ton üretim kapasitesine sahip Sıcak Haddehaneyi bünyesinde barındırmaktadır. Üretim sonrasında oluşan yüzey düzensizliklerini ayıklamak-kontrol etmek, bobinlerin yeniden sarılması, bölünmesi organizasyonlarının yapılması adına Bobin Hazırlama Hattı'na gönderilebilmektedir. Sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik saclarda bobin açma (kesme-dilme-yeniden sarma) prosesi sırasında haddeleme yönüne dik (düzensiz) kırıklar oluşabilmektedir. İsdemir Sıcak Haddehane bölgesinde ACB (ANTI-COIL BREAKER) sistemi ile sonraki hatlarda kırık oluşumunda etkili olan (kimyasal kompozisyon ve sarılma sıcaklığından bağımsız) bobin açma sıcaklığı, hat hızı-gergisi, ACB role çapı - konumu - basıncı ,hat merkezlemesi, açıcı - sarıcı mandrel senkronizasyonu parametreleri incelenmiştir.

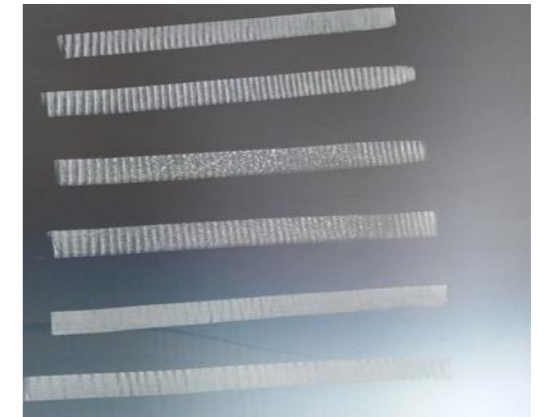
Bu çalışmada sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik sacların yeniden açılması sırasında oluşan rulo kırığının

ACB sistemi ve optimum hat parametreleri ile giderilmesi hedeflenmektedir.

### 1. Giriş

**Rulo Kırığı:** Rulo kırıklarının oluşumundaki temel neden, sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çeliklerin süresiz akma bölgesindeki heterojen uzamadır.

Sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik bobinlerin sonraki hatlarda açılması sırasında, haddeleme yönüne dik olarak, sac genişliği boyunca düzensiz bir şekilde ortaya çıkan kırıklardır. Şekil 1 de tekrardan açılan bobin üzerinde oluşan rulo kırığı kusuru gösterilmiştir.



Şekil 1: Rulo Kırığının Görünümü

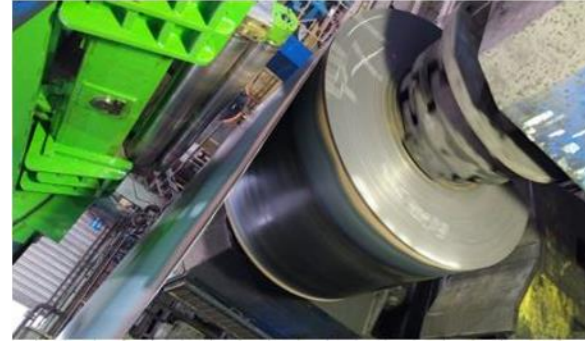
**Rulo Kırığını Kusura engellemek adına çalışılan parametreler**

- Kimyasal kompozisyon
- Bobinin sarılma sıcaklığı
- Bobin açma sistemleri
- Bobinin açılma sıcaklığı
- Rulo açma sistemi hızı
- Rulo açma sistemi senkronizasyonu

Bobin açma sistemleri içinde yer alan ACB (ANTI-COIL BREAKER) sisteminin etkinliği incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada 4 mm kalınlık altı, düşük karbonlu soğuk haddelemeye uygun DIN 1614-1:1986 (Standart)- St22 – Erdemir Kalite :6412 kalite 30 adet bobinin incelenmesi yapılmıştır.



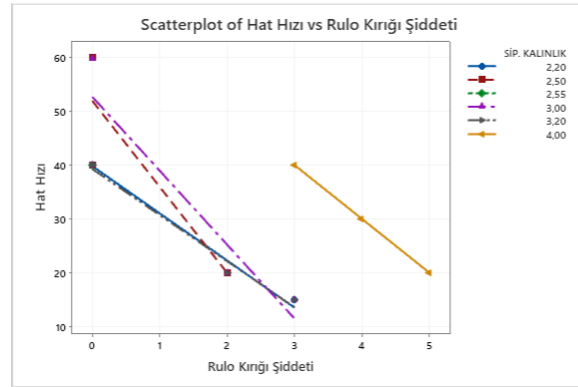
Şekil 2: ACB Sistemi

Bobinin açılması sırasında çekme kuvvetine maruz kalan üst yüzeye Şekil 2'de de görüldüğü gibi ACB röleleri ile ters baskı kuvveti uygulayarak kusurun giderilmesi sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında bobin açma sıcaklığı, hat hızı-gergisi, ACB role çapı- konumu – basıncı, hat merkezlemesi, açıcı – sarıcı mandrel senkronizasyonu parametreleri incelenmiştir.

Açıcı merdane – Sarıcı merdane senkronizasyonu , 15-20-40 m/dk hat hızlarında rulo kırığı performansı , hat hızındaki ani dalgalanmalar , bobin açma sıcaklığı , hat merkezleme performansının rulo kırığı oluşumunda etkili olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3'te verilen grafikte farklı kalınlıklardaki bobinler üzerinden rulo kırığı kusurunun artan hat hızı ile ilişkisi gösterilmiştir. Rulo kırığı kusuru hat hızı arttıkça azalmaktadır. Bobin hazırlama hattında farklı kalınlıklarda farklı hızlarla çalışılabilmektedir. Her kalınlık için optimum hat hızı denemelerle ortaya konulmuştur. Örnek olarak 2-3 mm aralığında hat hızı 20 m/dk ile üretildiğinde ACB tam performans göstermezken hat hızı 40 m/dk çıktığında ACB tam performans gösterip rulo kırığını engellemektedir. 2-3 mm aralığında optimum hat hızı yapılan denemeler sonrasında 40 m/dk olarak belirlenmiş ve Seviye 1 parametresi olarak set edilmiştir.



Şekil 3: Kalınlık, Hat Hızı – Rulo Kırığı Şiddeti Grafiği  
\*Kusur Şiddeti 5 (Ağır Kusurlu) – Kusur Şiddeti 0 (Kusur Yok)

## 3. Sonuç

- ACB sisteminin aktif olduğu metrajlarda 4 mm altı kalınlık bobinlerde rulo kırığını giderdiği tespit edilmektedir.
- Deneme kapsamında farklı hat hızlarında 15-20-40 m/dk rulo kırığı performansı incelenmiştir. 15-20 m/dk hızlarda rulo kırığı tespiti bulunmaktadır. (Hız- kusur görünme olasılığı ters orantılıdır.) 40 m/ dk hat hızının ideal hat hızı olduğu teyit edilmiştir. (60 m /dk hız ile daha yüksek performanslı sonuçlar mevcuttur. Ancak hattın 60 m/dk hıza ulaşma metrajının yaklaşık 100 metre olması nedeni ile standart uygulama kapsamında değerlendirilmemiştir.
- Hat hızındaki ani dalgalanmalar rulo kırığı oluşma olasılığını arttırmaktadır. Sabit hat hızı ile üretim yapılması önemlidir.
- Farklı bobin açma sıcaklıklarında ( Oda sıcaklığı – 60 C ) bobin açma sıcaklığının kusur oluşumunda arttıkça artan yönde etkili olduğu teyit edilmiştir.

## Referanslar

[1] András Mucsi, Analysis of coil break defects, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Népszínház 8, 1081 Budapest, Hungary

[2] Sergey M. Belskiy, Evgeny B. Bobkov, Valery A. Cherny, CAUSES OF "COIL BREAK" DEFECTS ON HOT STRIP SURFACE IN THE CONTINUOUS PICKLER, Lipetsk State Technical University 30 Moskovskaya St. 398600, Lipetsk, Russian Federation

## Slab Tandish Çalışma Astarı Robotik Püskürtme Uygulaması Slab Tundish Wear Lining Robotic Gunning Application



Memduh KIRCAN, Berke GENÇ, Zülfikar Emre TAN  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Tundish, which takes place in the steel production process, is the intermediate equipment used for pouring the liquid steel from the steel casting ladles into the molds in the continuous casting machines. During the preparation of the tundish for casting, magnesite based material is applied as a primer by gunning method. Lining application of tundish is done by human power and can be done in approximately 2 hours using 4 tons of material.

In this study, the applicability of the robotic system in slab tundish was studied and Magnesite based material was gunned on the tundish without man power. By creating more ergonomic working conditions with the robotic spraying system, OHS risks have been reduced, labor savings have been achieved, and material savings have been achieved with optimum gunning thickness.

### Özet

Çelik üretim süreci içerisinde yer alan tandişler sıvı çeliğin çelik döküm potalarından sürekli döküm makinelerindeki kalıplara boşaltılması için kullanılan ara ekipmanlardır. Tandişin döküme hazırlanması aşamasında astar olarak manyezit harç malzemesi püskürtme yöntemi ile uygulanmaktadır. Tandişlerin astar uygulaması insan gücü ile yapılmakta olup yaklaşık 2 saatte 4 ton malzeme kullanılarak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada robotik sistemin slab tandişte uygulanabilirliği araştırılmış ve insan gücü olmadan manyezit harç püskürtme uygulaması yapılmıştır. Robotik püskürtme sistemi ile daha ergonomik çalışma şartları oluşturularak İSG riskleri azaltılmış, iş gücü tasarrufu ve optimum püskürtme kalınlığı ile malzeme tasarrufu sağlanmıştır.

### 1. Giriş

Son yıllarda özellikle dünyada önde gelen çelik üreticilerinde fiziksel insan gücüne bağlı olarak ergonomik olmayan şartlarda yapılan refrakter uygulamalarının yerini robotik uygulamaların aldığı takip etmekteyiz.

Refrakter uygulamaları çoğu zaman gerek işin tekniği gerekse üretim devamlılığı açısından insan sağlığını zorlayan şartlarda yapılmaktadır. Tandiş astar uygulamalarında da benzer şekilde işin süresine bağlı

yüksek sıcaklıklardaki çalışma ortamı nedeniyle ergonomik olmayan çalışma şartları bulunmaktadır. Bu şekilde yapılan uygulamalarda İş Sağlığı Güvenliği anlamında oluşan olumsuzlukların yanında işin kaliteli yapılması da üretim verimliliği açısından son derece önemlidir.

Tandiş, çelik üretiminde pota metalürji sürecinde içeriği ayarlanmış sıvı çeliğin sürekli döküm makinelerinde döküm için kullanılan ara havuzdur.

İsdemir' de yaklaşık 10 m uzunluğunda 70 ton çelik taşıma kapasitesine sahip 19 adet slab tandiş bulunmaktadır ve çelik üretiminde yıllık yaklaşık 1000 adet slab tandiş kullanılmaktadır.

Söz konusu tandişlerin refrakter uygulaması püskürtme yöntemi ile vardiyada 3 refrakter personeli tarafından yapılabilmektedir. Uygulama manuel yöntem ile tandiş içerisine girilerek yapılmakta olup bir tandişin hazırlanması yaklaşık olarak 3-4 saat sürmektedir.

Tandiş refrakter uygulaması sırasıyla izolasyon astarı emniyet astarı (düşük alüminalı beton) ve çalışma astarıdır. Tandişlerin döküme hazırlanmasında refrakter çalışma astarı (çelik ile etkileşimde olan katman) olarak manyezit esaslı püskürtme malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca hazırlama sürecinde sıvı çelik akışını düzenlemek için tandiş çarpma havuzu ve girdap önleyici refrakter malzemeleri kullanılmaktadır.

Dökümden gelen slab tandişin çeliği alınarak soğutulur. Soğutulan tandişin cüruf temizliği yapılması sonrasında tandiş çarpma havuzu cüruf girdap önleyici ve çanak refrakter montajları tamamlanarak püskürtmeye hazır edilir.



Şekil 1. Manuel slab tandiş püskürtme uygulaması.

Yapılan araştırmalar sonucunda kullanım alanı ve koşullara en uygun robotun ABB marka IRB4600 model robotun olduğu kanısına varılmıştır. Kullanılan robot 6 eksenli olarak tasarlanmıştır. Bu duruma ek olarak taşınabilir kabinin tavanına montajı yapıldığından dolayı 7. eksen olarak kabin boyunca hareket edebilmektedir.

Üretim adı	robot kol 6 eksen IRB 4600
Model	IRB 4600-45/2.55
Uygulama	
Maksimum reach	2550mm
Maksimum yük kapasitesi	40 kg
Tekrarlanabilirlik poz (ISO 9283)	± 0.06mm
Sayı eksen	6
Montaj konumu	Zemin, raf, tens veya eğimli
Ayak izi	512mm x 676mm
Ağırlık	425 kg
Koruma sınıfı	IP67
Denetleyici	IRCS tek kabin
<b>Hareket aralığı</b>	
A1	180 ° ile-180 °
A2	150 ° ile-90 °
A3	75 ° ile-180 °
A4	400 ° ile-400 °
A5	120 ° ile-125 °
A6	400 ° ile-400 °

Şekil 2. Kullanılan robotun teknik özellikleri.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Tasarım firması ile fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda firma tarafından yerinde inceleme ile sistemin kavramsal çalışması yapılmıştır. Teorik çalışmalar sonucunda vinç ile taşınabilir kabin şeklinde 6 eksenli robot kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılacak refrakter malzemeye göre robotik sistemin gerekliliği çıkarılmıştır.

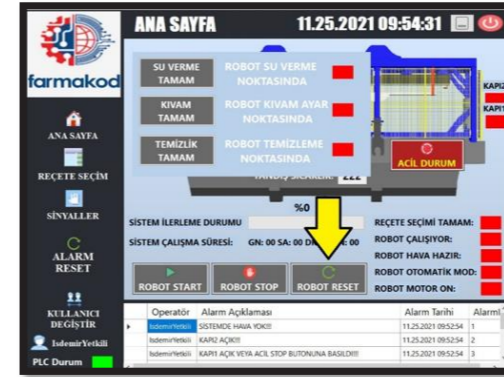


Şekil 3. Robotik tandiş püskürtme makinesi.



Şekil 4. Slab tandiş harç hazırlama makinesi.

Tandiş püskürtme malzemesi hazırlama makinesi ile robotik tandiş püskürtme makinesi yazılımsal olarak birleştirilerek Tandriş püskürtme malzemesi hazırlama makinesinde hazırlanan manyezit esaslı püskürtme malzemesi hortum ile robotik tandiş püskürtme makinesine aktarılarak robot yardımıyla tandiş duvarına püskürtülmesi sağlanır.



Şekil 5. Robotik tandiş püskürtme makinesi arayüzü

Robotik püskürtme makinesi yazılım arayüzü ile tandrişin aşınma durumuna göre püskürtme bölge ve kalınlık seçimi yapılarak uniform uygulama sağlanmaktadır. Uygulamanın başlangıcı ve bitişi otomatik olarak yapılmakta olup uygulama sonrası makine temizliği yapılarak işlem tamamlanmaktadır. Ayrıca uygulama tamamlanmadan malzeme hazırlama işi bitirilerek malzeme tasarrufu sağlanmaktadır.

## 3. Sonuçlar ve Tartırma



Şekil 6. Robotik slab tandiş püskürtme uygulaması

## 4. Sonuç

Slab tandiş çalışma astarı robotik püskürtme makinesi kullanımı ile;

### İş Sağlığı ve Güvenliği

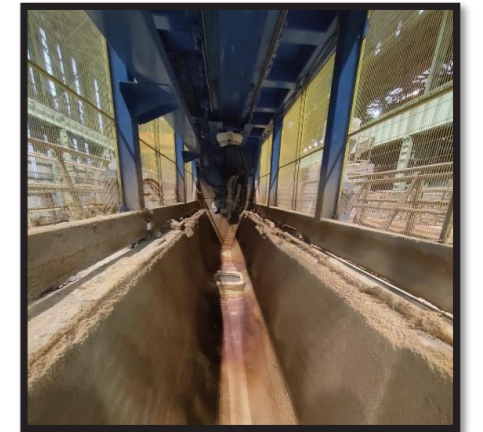
- Personel çalışma ortamı ve şartları iyileştirilmiştir. Ayrıca ergonomi açısından da iyileşme sağlanmıştır.
- Robotik uygulama ile personelin çalışmayacağı sıcaklıkta çalışma yapılarak tandriş hazırlama süreci hızlanmıştır.

### İşçilik

- Manuel olarak 3 personel ile yapılan uygulama robotik uygulama ile 1 personel tarafından yapılarak işgücü tasarrufu sağlanmıştır.

### Malzeme Tasarrufu

- Uniform püskürtme kalınlığı ile %2 malzeme tasarrufu sağlanmıştır. İlerleyen süreçte iyileştirmeler ile daha da artması amaçlanmaktadır.



Şekil 7. Robotik slab tandiş püskürtme uygulaması sonrası

## İSDEMİR 1. Yüksek Fırın Demontaj Çalışmaları

### İSDEMİR 1. Blast Furnace Disassembly Works

◆  
**Ümit GEBENLİ, İbrahim ÇAKMAK, Oğuzhan SARPKAYA,  
 Muhammed ÇAĞRI AYAN, Abbas GÜNER, Mustafa YILDIRIM, Şinasi GÜLHAN**  
 İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

In this paper, the disassembly works of the Furnace No. 1, which started in August 2019 in Iskenderun Iron and Steel Co. (İSDEMİR), are examined. Within the scope of the new No.1 Blast Furnace project works, the old furnace with a working volume of 1218 m<sup>3</sup> (daily production capacity 2600 TSHD) was disassembled and the preparation works for the new No.1 Blast Furnace of 3078 m<sup>3</sup> (daily production 7900 TSHD) in the same area.

In İSDEMİR Blast Furnaces, the liquid raw iron needed by the steel shop is produced. With the establishment of İsdemir, it was decided to disassemble Cemile, the blast furnace No. 1, which was commissioned in the 1970s, after 49 years of operation, and to invest in a larger technological furnace instead. For this reason, disassembly works of all steel construction structures, construction structures and refractory structures in the furnace have been started.

After the disassembly works were completed, 14.200 tons of steel scrap, 16.700 tons of refractory scrap, 116 tons of electrical materials scrap etc. were removed. These scraps were sold as semi-finished products in İsdemir A.Ş.

The dismantling works, which started on 27 August 2019 with the team formed by İsdemir A.Ş and Erdemir Engineering, were taken before the 12-month period foreseen on 30 June 2020, by taking the necessary precautions, and by taking the necessary precautions. The disassembly of the furnace was completed in 10 months with zero work accident, in accordance with the OHS rules, without disrupting the production process at İSDEMİR.

#### Özet

Bu çalışmada, İskenderun Demir ve Çelik A. Ş'de (İSDEMİR) 2019 yılı Ağustos ayında başlanan 1 No.lu Yüksek Fırının demontaj çalışmaları incelenmektedir. Yeni 1 No.lu Yüksek Fırın proje çalışmaları kapsamında 1218 m<sup>3</sup> çalışma hacimli (günlük üretim kapasitesi 2600 TSHD) eski fırının demontajının yapılar, aynı bölgeye 3078 m<sup>3</sup>'lük

(günlük üretim 7900 TSHD) yeni 1 No.lu Yüksek Fırının montaja hazırlık çalışmalarını kapsamaktadır.

İSDEMİR Yüksek Fırınlarında, çelikhanenin ihtiyacı olan sıvı ham demir üretimi yapılmaktadır. İsdemir'in kuruluşu ile 1970'lerde yılında devreye alınan 1 No.lu yüksek fırın Cemile'nin 49 yıllık çalışma sonrası demonte edilip, yerine daha büyük hacimli teknolojik fırın yatırımı yapılmasına karar verilmiştir. Bu sebepten fırındaki tüm çelik konstrüksiyon yapıları, inşaat yapıları, refrakter yapılarının tamamının demontaj çalışmalarına başlanmıştır.

Demontaj çalışmaları tamamlandıktan sonra 14.200 ton çelik hurdası, 16.700 ton refrakter hurdası, 116 ton elektrik malzemeleri hurdası vs hurdalar çıkarılmıştır. Çıkarılan bu hurdalar İsdemir A.Ş de ve İsdemir A.Ş dışında bu ürünleri yarı mamül olarak satılmış ve şirketimize katma değer sağlanmıştır.

27 Ağustos 2019 yılında İsdemir A.Ş ve Erdemir Mühendisliğin oluşturduğu ekip ile başlayan demontaj çalışmaları 30 Haziran 2020 tarihinde ön görülen 12 aylık süreden önce, gerekli tedbirler alınarak ana demir yolları ve iki ana işletme ünitesi (Yüksek Fırın-Çelikhane) arasında bulunan 1. Yüksek Fırının demontajı İSDEMİR'deki üretim sürecini aksatmadan İSG kurallarına uygun bir şekilde 10 ayda sıfır iş kazasıyla tamamlanmıştır.

#### 1. Giriş

Türkiye'nin en eski fırınlarından olan 1970 yılında devreye alınan 1 No.lu yüksek fırının 49 yıllık üretim faaliyetleri sonrası 2019 yılı Ağustos ayında demontaj çalışmaları başlamış olup, 2020 yılı Haziran ayı içerisinde demontaj çalışmaları tamamlanmıştır. Demontaj çalışmalarında çelik konstrüksiyon, inşaat yapısı, refrakter ve elektrik malzemeleri demontajları yapılmıştır.

#### 2. Demontaj Çalışmaları Öncesi hazırlıkları

1 No.lu Yüksek Fırın demontaj çalışmaları öncesi fırın içerisinde donmuş hammaddeyi tahliye etmek için çalışmalar başlatılmıştır. Döküm deliği çevresindeki zırh ve soğutucular demonte edilerek fırın içerisindeki donmuş kütlelerin tahliyesine başlandı.



Şekil 1. Zırh ve Soğutucu Demontajı

Zırh ve soğutucu demontajı yapıldıktan sonra iş makinesi vasıtasıyla fırın içerisindeki donmuş kütlelerin tahliyesine başlandı.



Şekil 2. Fırın İçi Malzeme Boşaltımı

Fırın içi malzeme boşaltımı tamamlandıktan sonra inşaat yapısı yıkımı ve çelik konstrüksiyon demontajına başlanmıştır.



Şekil 3. Fırın İçi Çıkan Hammadde



Şekil 4. Demontaj Başlangıcı



Şekil 5. Çelik Konstrüksiyon Demontajı

Demontaj sırasında kesilen her parçanın tahmini ağırlık hesabı yapılarak uygun sapanlama ve vinç kullanılmıştır. Aşağıdaki resimdeki görüntü örnek bir resimdir.



Şekil 6. Çelik Konstrüksiyon Demontajı

Haznede bulunan karbon tuğlalar demontaj sırasında temiz bir şekilde çıkartılarak ambarda istiflenmiştir. Yaklaşık 300 ton karbon tuğla temiz bir şekilde çıkartılmıştır. Çıkarılan bu tuğlaların yaklaşık 80 tonu 2 YF hazne tamir süresinde kullanılmıştır.



Şekil 7. Karbon Tuğla Demontajı



Şekil 8. Demontaj Edilen Karbon Tuğlalar

1 YF'den demonte edilen karbon tuğlalar 2020 yılı aralık ayı içerisinde 2 YF hazne içerisinde kullanılmıştır.

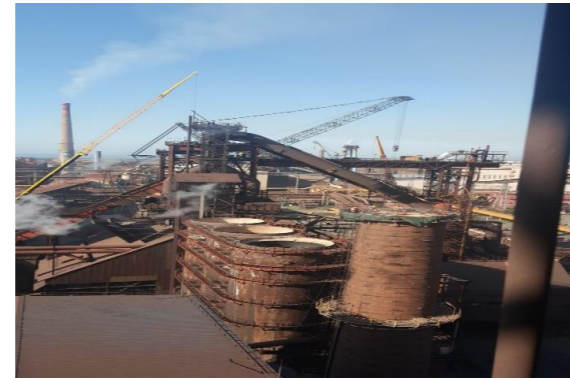


Şekil 9. 2 YF 'de Kullanılan Karbon Tuğlalar

Sobalar ve soba atık gazlarının tahliye edildiği tuğla bacanın demontajları yapıldı.



Şekil 10. Demontajı Yapılan Soba Tuğla Bacası



Şekil 11. Demontajı Yapılan 3 Adet Soba



Şekil 12. Fırın İçinden İş Makinası ile Sökülen Tuğlalar

Fırın gövdedeki çelik konstrüksiyon parçaların tamamına yakını 800 t onluk vinç yardımıyla yapılmıştır. Aşağıdaki resimde 800 tonluk vinç ile yapılan demontaj ile ilgili resim bulunmaktadır.



Şekil 13. 800 Tonluk Vinç Maniplasyon

15 Ağustos 2019 yılında İsdemir'in oluşturduğu ekip ile başlayan demontaj çalışmaları 30 Haziran 2020 yılında sıfır iş kazasıyla tamamlanmıştır. Demontaj süreci tamamlandıktan sonra aşağıdaki hurda miktarları ve harfiyatlar çıkmıştır. Çıkan 14.262 tonluk çelik hurdası İsdemir Çelikhane Müdürlüğünde konverterlerde ergitilmek suretiyle katma değerli ürün haline getirilmiştir.

Tarih	409-ÇK De-Montajı	410-Hurda Demir	469-Hurda Bakır	494-Tekrar Kül.Ekp.	411-Al Dojrama	352-Krom	502-Hurda Motor	616-002 Baca ÇK Demontajı	616-003 Baca Hurda Demir	
Genel Toplam(Ton)	14.262,380									
462-Elektrik Malzemesi	414-Elektrik Kablo	513-Hurda Trafo	413-Pano	116,800						
Hafiyat ve Beton Moloz	616-004 Baca Beton Moloz	Skip çukuru dolgusu	616-001 Sobalar Refrakter Demontajı	616-005 Baca Hurda Tuğla	194-001 Karbon Tuğla	Refrakter Demontajı	16.471,81			
32.118,19		6.600,00		16.471,81						

Aşağıdaki tabloda eski 1 No.lu Yüksek Fırının demontaj tarihleri bulunmaktadır.

1YF DEMONTAJI İŞİNDE DEMONTAJI YAPILAN ÜNİTELERİN/BİNALARIN BAŞLAMA BİTİŞ TARİHLERİ					
SIRA NO	BİNA ADI	BAŞLAMA TARİHİ	BİTİŞ TARİHİ	SÜRE	
1	VİNÇ BAKIM ATÖLYESİ	29.07.2019	21.08.2019	23	
2	3.KÜKÜRT GİDERME TESİSİ	15.08.2019	4.09.2019	20	
3	2.KÜKÜRT GİDERME TESİSİ	21.08.2019	3.09.2019	13	
4	1.YF GÖVDE, DÖKÜMHANE,TAŞIYICI YAPISI, FIRIN UPTAKE,DOWNCOMER (BİNA NO:209-1), SKİP MAKİNE HOLÜ BİNASI (BİNA NO:209-1/04), TOZ TUTUCU	21.08.2019	10.05.2020	263	
5	KOMPRESÖR VE ELEKTRİK ODASI(4TN-7 TRAFO ODASI)	26.08.2019	6.09.2019	11	
6	ŞARJ TESİSİ EKİPMAN VE MALZEMELERİ (BUNKERLER,HOPPERLER,BESLEYİCİLER,ELEKLER,ELEK MOTORLARI,BANTLAR V.S.) İLE	2.09.2019	20.04.2020	231	
7	ASPIRASYON BACASI (BETON BACA)	7.09.2019	10.02.2020	156	
8	1 YF SOBALAR BACASI	12.10.2019	5.02.2020	116	
9	1.YF AIT 2 ADET ELEKTROFİLTRE VE SCRUBER (GAZ YIKAMA KULESİ)	24.10.2019	2.12.2019	39	
10	1-2-3 NOLU TURBO KÖRÜK ÜNİTESİ	20.04.2020	30.06.2020	71	
11	YÜKSEK FIRINLAR MÜDÜRLÜĞÜ İDARİ BİNA	11.05.2020	26.06.2020	46	
12	TORPEDO İSITMA TESİSİ ,POTA TAMİR ATÖLYESİ VE RAMP	14.05.2020	26.06.2020	43	

### 3. Sonuç

27 Ağustos 2019 yılında İsdemir'in oluşturduğu ekip ile başlayan demontaj çalışmaları 30 Haziran 2020 tarihinde ön görülen 12 aylık süreden önce, 10 ayda sıfır iş kazasıyla tamamlanmıştır. Demontaj süreci tamamlandıktan sonra aşağıdaki hurda miktarları ve harfiyatlar çıkmıştır. Çıkan 14.262 tonluk çelik hurdası İsdemir Çelikhane Müdürlüğünde konverterlerde ergitilmek suretiyle katma değerli ürün haline getirilmiştir.

### Referanslar

[1] İSDEMİR A.Ş. Eski 1 No.lu Yüksek Fırın Projeleri

## SAE J403 1018 Çelik Kalitesinde Dökülebilir Tufal Tabakasının Geliştirilmesi

Development of Removable Scale on SAE J403 1018 Steel Quality

◆  
**Mustafa TÜRKMANI, Koray ARAY, Ahmet SAĞLAM, Hamdi GÜL, Harun YETİM**  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

In the product range of wire rod mill at İsdemir, there are fine wire, commercial, high carbon, nut, bolt and electrode qualities, and production is made from Ø5.5 mm to Ø16 mm diameters. SAE J403 1018 quality coils, of which approximately 7060 tons were produced in 2021, constitute approximately 1.61% of the production. In İsdemir, this quality is called 1.1018\_03 commercial quality. In this study, it was aimed to increase the process efficiency of 1.1018\_03 quality mechanical descaling, and the effects of the designed processes and the parameters of laying head temperature on the scale layer were investigated. Comparisons of the results of the experiments with different laying head temperatures were examined by optical microscope. The relationship between the relevant parameter changes and other desired mechanical properties will be evaluated separately and its suitability will be decided for mechanical descaling.

**Keywords:** Mechanical Descaling, Coil, Low Carbon, Laying Head Temperature

### Özet

İsdemir firmasında 2021 yılında yaklaşık 7060 ton kangal üretimi gerçekleştirilmiştir. Kangal Haddehanesi ürün gamında ince tellik, ticari, yüksek karbonlu, somunluk, civatalık, elektrotluk kaliteler olup Ø5,5 mm den Ø16 mm çaplarda üretim yapılmaktadır. Kangal üretimimin yaklaşık %1,61 lik payını SAE J403 1018 kalitesi oluşturmaktadır. İsdemir'de bu kalite 1.1018\_03 ticari kalitesi olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışmada 1.1018\_03 kalitesinde kolay giderilebilir tufal üretimine yönelik kangal üretimi hedeflenmiş olup, tasarlanan proseslerde farklı serme kafa sıcaklığı parametrelerinin tufal tabakasına etkileri araştırılmıştır. Farklı serme kafa sıcaklıkları ile yapılan deneme üretimlerine ait sonuçların kıyaslamaları optik mikroskopta incelenmiştir. İlgili parametre değişimlerinin müşteri taleplerine göre mekanik özelliklerle ilişkisi ayrıca değerlendirilmiştir. İlgili parametrelerin optimizasyonu ile mekanik tufal gidermeye uygun SAE J403 1018 kalitesi üretimi hedeflenmektedir.

### 1. Giriş

Çalışmaya konu olan EN 16120-2 C18D kalitesi İSDEMİR için ticari kalite için kullanılan bir çelik türüdür. Kalite ifadesinde belirtilen "EN" Euro Norm'u ifade etmektedir. "-2" ile belirtilen kısım standardın genel amaçlı filmaşın için özel gereksinimler bölümüne aittir. C18D belirtilen sayı C##D tanımında "C", alaşımsız çelik anlamına gelir; ## göstergesi ortalama karbon içeriği; "D" tel çekme için olduğunu belirtir

SAE Otomotiv Mühendisleri Topluluğu anlamına gelen Society of Automobile Engineers (SAE International) kısaltılması olup Amerikan kalite normudur. J403 1018 10 ibaresi alaşımsız çelik kategorisini temsil ederken sondaki 18 sayısı ortalama karbon değerini ifade etmektedir.

Çalışmada proses tasarım yöntemi ile dökülebilir tufal tabakasının geliştirilmeye çalışıldığı 1.1018\_03 kalitesidir. Üretimi yapılan kaliteler Yüksek Fırın- Kükürt Giderme İstasyonu- Bazik Oksijen Konverteri - İkincil Metalurji İstasyonu - Kütük Döküm Makinası - Kütük Isıtma Fırını-Kangal Haddehanesi proseslerinden geçerek üretilmektedir.

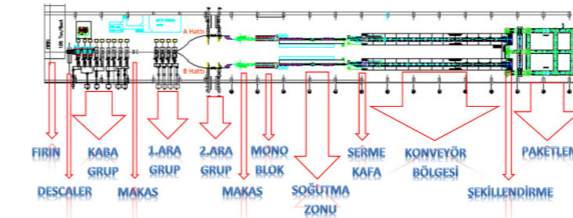
Kangal haddehanesinde tavlanan 130X130 mm ebatlarına sahip kütük, kaba grupta 9 tezgah sonrası Ø40-45 mm çapa, 1.ara grup 4 tezgah sonrası Ø25 mm çapa, 2.ara grup 2 tezgah sonrası Ø18 mm çapa indirilir. Finish grubunda dikey ve yatay 10 tezgah bulunmakta olup, finish grubunun Ø5,5 mm çapa indirgenen kangal 4 bölgeyi soğutma bölgelerinde soğutulmuş hedef sıcaklık ile serme kafa bölgesinden geçmektedir.

Çalışmada belirtilen 1.1018\_03 kalitesinde hedeflenen çekme mukavemet alt limiti 510 MPa hedeflenerek mekanik tufal gidermeye uygun 1.1018\_03 kalitesi üretimi serme kafa sıcaklık revizyonları deneyerek tufal yapısı incelenmiştir. Çalışma sonrası FeO / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranı müşteri talebi nedeniyle minimum 4 / 1 olarak hedeflenmiştir.

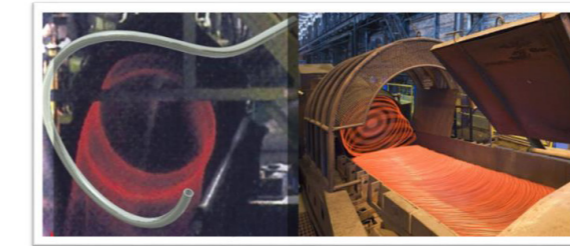
### 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında, tufal tabaka yapısına etki eden faktörlerden serme kafa sıcaklığı düşük-yüksek seviyeleri belirlenerek FeO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit/Manyetit) oranı üzerindeki etkisinin sistematik bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma neticesi optik mikroskop yardımıyla tufal yapısının incelenmesi ile değerlendirilmiştir. Farklı proseslere ait kangallara yapılan çekme testi sonuçları ile değişken parametrelerin mekanik özellikler üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Kangal haddehanesi proses şeması



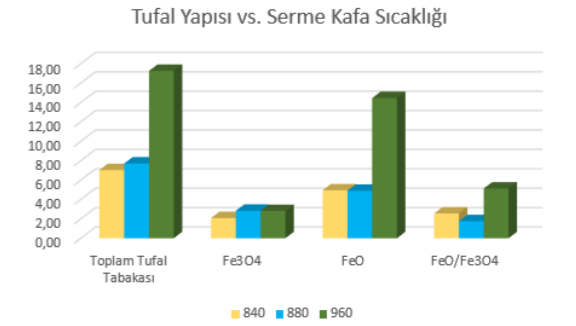
Şekil 2. Kangal haddehanesi serme kafa bölgesi

Çalışmada tufal yapısını doğrudan etkileyen serme kafa sıcaklık değeri 840 – 880 – 960 °C sıcaklıklarında 3 farklı parametrede kangallar üretilerek alınan numunelerde tufal yapısı incelenmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Artan serme kafa sıcaklığı ile malzeme yüzeyinde oluşan toplam tufal tabakasının arttığı görülmüştür. Artışına bağlı olarak vüstit fazının manyetit fazına oranı sıcaklık arttıkça yükselmiştir.

840 °C de üretilen kangallarda ortalama FeO/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranı 2,56 ; 880 °C de üretilen kangallarda ortalama FeO/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranı 1,75; 960 °C de üretilen kangallarda ortalama FeO/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranı 5,13 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Tufal yapısının serme kafa sıcaklığı ile değişimi

Serme Kafa Sıcaklığı	840°C				880°C				960°C			
	Toplam	Fe3O4	FeO	FeO/Fe3O4	Toplam	Fe3O4	FeO	FeO/Fe3O4	Toplam	Fe3O4	FeO	FeO/Fe3O4
Ölçüm 1	6,97	1,52	5,45	3,59	6,55	2,62	3,93	1,50	13,59	2,55	11,04	4,33
Ölçüm 2	6,99	2,28	4,71	2,07	7,52	2,90	4,62	1,59	14,55	2,51	12,04	4,79
Ölçüm 3	7,79	3,10	4,69	1,51	8,35	3,45	4,90	1,42	19,38	2,76	16,62	6,02
Ölçüm 4	6,48	1,79	4,69	2,62	7,93	2,55	5,38	2,11	19,38	3,10	16,28	5,25
Ölçüm 5	6,90	1,72	5,17	3,00	8,21	2,62	5,59	2,13	19,38	3,10	16,28	5,25
Ortalama	7,03	2,08	4,94	2,56	7,71	2,83	4,88	1,75	17,26	2,81	14,45	5,13

Şekil 4. Proses bazlı tufal yapısı

Çalışma sonrası yapılan ölçümlerde FeO / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranı 4 / 1 hedefi 840 ° ve 880 ° C2de sağlanamamış, 960°C'de istenen oran yakalanmıştır.

FeO/ Fe3O4: hedef 4/1	840°C	880°C	960°C
	NOK	NOK	OK

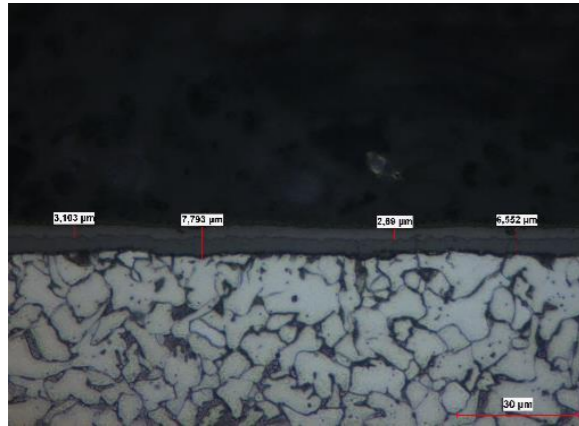
Şekil 5. Proses bazlı tufal analizi

Değişken parametreler neticesinde yüksek serme kafa sıcaklıklarında mukavemette kalitenin düşük karbon ihtiva etmesinden dolayı büyük farklılıklar görülmemiş, kalite mukavemet hedefi olan minimum 510 MPa değeri sağlandığı test sonuçları ile teyit edilmiştir.

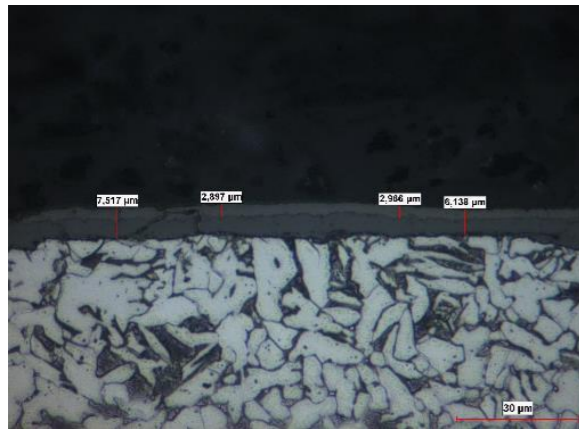
Sıcaklık(Serme Kafa)	Ortalama ÇEKME N/mm <sup>2</sup>	C	MN
840	521	0,18	0,72
880	524	0,18	0,72
960	514	0,18	0,72

Şekil 6. Proses bazlı mukavemet analizi

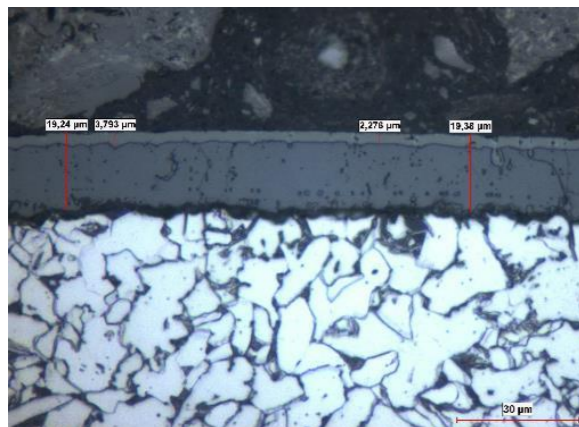




Şekil 4. 840°C üretilmiş kangal tufal yapısı



Şekil 4. 880°C üretilmiş kangal tufal yapısı



Şekil 4. 960°C üretilmiş kangal tufal yapısı

#### 4. Sonuç

1.1018\_03 kalite Ø5,5 mm ebat için dökülebilir tufale yönelik proses denemelerinde optimum serme kafa sıcaklığı tespiti gerçekleştirilmiştir.

- FeO/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Vüstit / Manyetit) oranında 4/1 hedefini sağlayan sıcaklık tespiti yapılmıştır.
- Kangallarda değişen proses parametrelerine istinaden değişen mekanik özellikler gözlemlenmiş, majör fark görülmemiştir.
- Dökülebilir tufal ile teorik olarak sonraki proseslerde dökülen tufal sayesinde hadde büyümesi problemi önlenmiştir.
- Denemesi yapılan proses parametresine bağlı olarak optimum üretim parametreleri hadde kartlarına tanımlanmıştır.

#### Referanslar

- [1] W. Yang, The Structure and Properties of Mill Scale in Relation to Easy Removal, (Feb,2001)
- [2] J. Tominaga, K. Wakimoto, T. Mori, T. Yoshimura ve M. Murakami, Manufacture of Wire Rods with Descaling Property, ISIJ Vol 22. (1982)

## Tuning of Thermomechanical Rolling Model and Its Effects on Mechanical and Microstructure of Nb-Ti Alloy Steels

İsdemir Sıcak Haddehanesinde Termomekanik Haddeleme Modelinin Uygulanması



Hasan YILDIRIM, Cemre KEÇECİ

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

Thermomechanical Rolling method is used to obtain high mechanical strength and toughness, combined efficient workability and weldability. This is a controlled process, from slab reheating rough and finish rolling, up to accelerated cooling. Rolling is performed in accordance with a defined rolling-pass schedule, with proper holding time to cool down to temperature of no recrystallization, finish rolling in austenite phase above Ar<sub>3</sub> temperature and cooling to achieve target microstructure and mechanical properties. In this study, thermomechanical rolling model applied in ISDEMİR HSM is investigated analyzing rolling schedule, transfer bar thickness, oscillation of transfer bar and cooling parameters while taking into account the mill technological restricting conditions.

#### 1. Introduction

Increase in the customer demand on the rolled steel with high strength and high toughness combination has made the thermomechanical rolling method more popular in the recent years. Pipe producers tend to produce pipe with large diameter and work under high internal pressure to increase the transportation efficiency and avoid the use of high wall thickness in order to decrease its weight and to decrease the project cost. Beside, automotive industry needs lightweight steel to reduce fuel consumption cost without sacrificing high mechanical properties. [1]

Numerous studies were carried out on the hot rolling of the microalloyed steels with high mechanical performance. Thermomechanical rolling method is known as one of the most effective ways to obtain high strength and toughness without huge addition of alloying elements. The diffusion of the thermomechanical rolling method in Isdemir commenced after 2014. Pilot batch of hot rolling coils (14-17 x 1500 mm API X70 PSL2 steel grade) has been produced using thermomechanical rolling method without exceeding the existing process constraints and without upgrading. During the period of implementation, thermomechanical rolling method in Isdemir has evolved and required change in

production parameters has been performed. Currently, this production practice presents high potential and is still developing. Another pilot batch of hot rolling coils is grade of S700 MC (with a size group of 5-10 x 1500 mm, 3,5-10 x 1250 mm) also produced using this method.

The critical issue during implementation phase of thermomechanical rolling, optimal combination between chemical composition of steel and mill restricting conditions should be taken into account in order not to manufacture expensive final product.

The objective of this paper is to develop optimum production way to produce the high strength-toughness combination steel with a thermomechanical rolling method without equipment upgrading.

#### 2. Experimental Procedure

The existing equipments of the mill consist of 2 walking beam type slab reheating furnaces, 1 four-high roughing mill, 6 four high finishing mill stands, accelerated cooling unit and 2 coilers. It is worth noting that 7 descalers with a main line pressure of 220 bar are installed at the rolling mill. Layout of the main equipments of Isdemir Hot strip Mill is shown in Figure.1

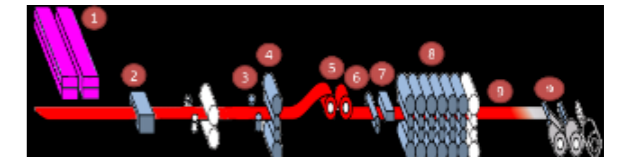


Figure.1 Flowchart: 1 – slab furnaces, 2 – hydraulic scale breaker, 3-edger, 4- roughing mill, 5 – coilbox, 6- rotary shear, 7- finish scale breaker, 8- finishing mill, 9- cooling units, 10 – downcoilers

During the production using thermomechanical rolling method, first, optimum chemical composition is determined.(Table.1)

Steel Grade	%					
	C max.	Mn max.	Nb max.	V max.	Ti max.	CE max.
S700 MC	0.07	1.90	0.08	0.01	0.12	0.42

Table.1 Chemical Composition for S700 MC

Nb and Ti are used as chemical composition elements which make it possible to monitor the grain sizes during the austenization and rolling.[2]

Based on chemical composition (Table.1), not recrystallization temperature  $T_{nr}$  is calculated (1). During rolling below  $T_{nr}$  temperature the deformation takes place without recrystallization with pancaked austenite grains at the end.[3] In deformations made under  $T_{nr}$ , austenite grains deform after reduction since there is no possibility of recrystallization. After reduction, the grains decrease in width, while their length increases and they turn into a thinner long morphology. The grains in this morphology are called pancake structure. As the cooling continues, the ferrite grains are formed within the austenite grains in the form of pancakes under the  $A_{r3}$  temperature. Ferrite grains nuclei from this type of morphology are much smaller than classical recrystallization, as they contain much more grain boundaries than coaxial grains. In addition, the new ferrite grains formed in the twinning bands in the austenite grains of pancakes with small in size.

$T_{nr}$  temperature can be influenced by the reduction rate and largely by the addition of micro alloys. Nb which has the highest increasing effect on  $T_{nr}$  in micro alloy elements. In the Figure 2, the effect of alloying elements can be seen. Ti and Nb elements contribute to the formation of pancake austenite by increasing  $T_{nr}$  temperature.

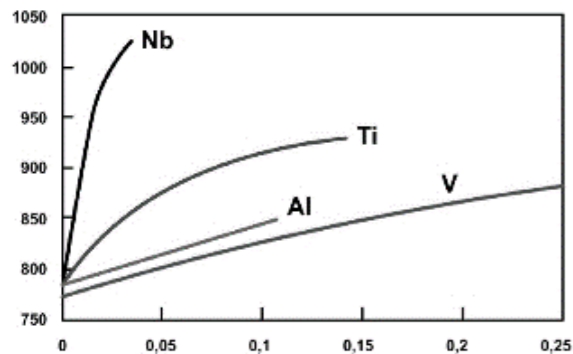


Figure 2. Effect of Micro Alloys Elements on  $T_{nr}$

$$T_{nr} [^{\circ}C] = ((174 * \text{LOG}(\text{Nb} * (\text{C} + 12 / 14 * \text{N}_2))) + 1444) \quad (2)$$

Based on the chemical composition,  $T_{nr}$  temperature and coil size, process parameters used in thermomechanical rolling method are determined in Table.2

Parameters	Unit	Parameter Value
Slab reheat temp	[ $^{\circ}C$ ]	1210 $\pm$ 20
Heat time	[hours]	2-3
Finishing Entry Temperature	[ $^{\circ}C$ ]	<970
Finish Rolling Temperature	[ $^{\circ}C$ ]	820-880
Coiling Temperature	[ $^{\circ}C$ ]	550-650

Table.2: Process Parameters

To determine finish rolling temperature,  $A_{r3}$  temperature should be taken into account. It needs to be higher than  $A_{r3}$  temperature.

### 2.1. Determination of Passing Schedule

For a fixed grade and steel chemistry, increasing the total reduction below  $T_{nr}$  temperature generally reduces the final austenite grain size due to heavy "pancaking" of grains as strain is accumulated below the  $T_{nr}$ . Total reduction ratio below the  $T_{nr}$  should be kept above 3. In order to obtain required reduction below  $T_{nr}$  and considering mill constraints, passing schedule including roughing and finishing operations for thermomechanical rolling method is calculated. (Figure.3) Holding position is located between roughing and finishing mill sections where transfer bar thickness to final thickness ratio is above 3.[4]

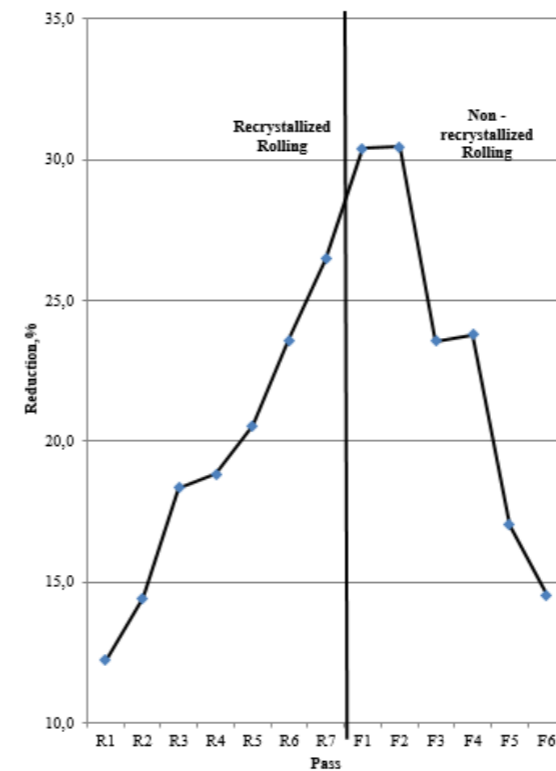


Figure.3 Passing Schedule for 10x1500 mm S700MC grade Condition of The Mill During Rolling

The pilot batch of hot rolling coils with a section of 10x1500 (steel grade S700 MC) was produced according to the calculated conditions. During production, rolling forces applied are also monitored.(Figure.4)

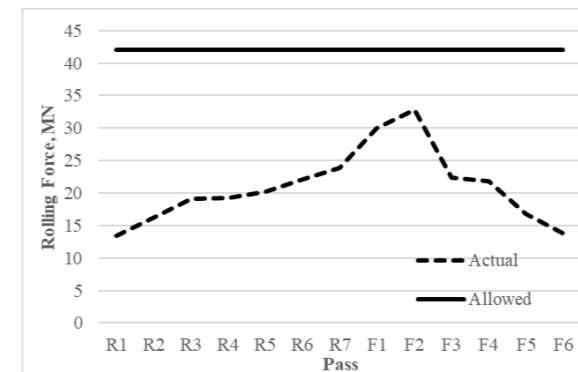


Figure.4: Rolling Forces

During production the reduction conditions may be partially adjusted by altering rolling rate or rolling forces from the target ones not to result in overloads of the main motors. It is worth mentioning that in order to prevent the overload of the main motors, decrease in the rolling forces at the early stand compensated by increase in the transfer bar thickness.

### 3. Results and Discussion

Analysis of the obtained results was carried out based on the mechanical tests, metallographic research. The samples for evaluation of mechanical properties from coils of the pilot batch were taken after the final cooling in the air ambient. The results of the mechanical tests are compatible with the requirement described in EN 10149-2 for steel grade S700 MC (Table.3). Thus the thermomechanical rolling method can be applied to obtain high mechanical properties in Isdemir hot strip mill conditions.

	Yield Strength [MPa]	Tensile Strength [MPa]	Elongation [%]
Actual Coil	708	790	21
EN10149 Requirements for S700 grade	700 (min.)	750 (min.)	12 (min.)

Table.3: Mechanical testing result for actual coil S700 grade

Metallurgical mean flow stress (MFS) just after the final rolling stand is kept above 270 MPa and this is the key point for sufficiently effective result of thermomechanical rolling method in Isdemir Hot Strip Mill.(Figure.5)

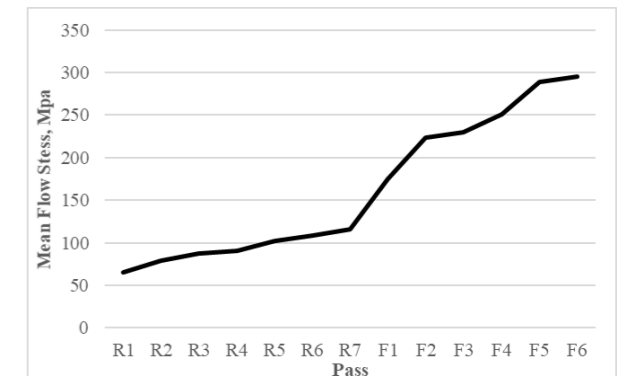


Figure 5: Mean Flow Stress for S700 MC grade (10x1500 mm)

For the analysis of internal quality of the hot rolled products, metallographic studies of the samples taken after final cooling were carried out. The microstructure of the samples is shown in Figure 6. The obtained microstructure is typical ferrite-bainite and contains fine grain. Grain number is 13 according to ASTM E112-96 standard. Such a state of microstructure in thickness of the rolled product shows that desired result during the thermomechanical rolling have been achieved.



Figure 6: S700MC microstructure X-200 and X-500

Another pilot batch of hot rolling coils has been produced with similar process parameters mentioned with a chemical composition given in Table.4

Quality	C	Mn	Al	N	Ti	Mo	Nb
X70	0,062	1,62	0,045	0,007	0,030	0,006	0,055
X70	0,076	1,62	0,045	0,008	0,043	0,005	0,055

Table 4. Chemical Composition

With this process, yield, tensile and % elongation values were obtained as given in Table 5;

Quality	Coiling Temp	Thickness	Yield Strength	Tensile Strength	% Elongation
X70	576	15 mm	56,3	67,1	20
X70	536	15 mm	61,7	71,1	19

Table 5. Mechanical testing result for actual coil X70 grade

At the same time, notch impact test and dwtt were performed on the produced coils. The test results are shown in table 6. As seen from the results, 100% ductile area can be seen in the dwtt results. The notch impact test was carried out at -30 °C and dwt test at -20 °C. It can be seen that the high yield strength and toughness required in X70 quality petroleum pipe steels are produced by thermomechanical rolling to meet customer expectations.

Charpy Impact 1	Charpy Impact 2	Charpy Impact 3	DWTT 1	DWTT 2
211	270	274	100	100
250	252	275	100	100

Table 6. Charpy Impact and DWT Test Results

After etching with 2% nital solution from the coil samples, microstructure analysis was performed. In the examinations made with Nikon optic microscope, microstructure distribution in X100, X200 and X500 magnifications and grain size measurement according to ASTM E112 were performed. Grain size measurement was done by image analysis evaluation method and average grain size was measured as 12.8 and 13.2. As can be seen at X100 magnification, it can be said that a microstructure with a very small-grained ferritic structure is formed.



Figure 7. X-100 Microstructure

Central region microstructure image of 15 mm thick coil is shown with the above picture at X100 magnification. In Figure 8, there is the microstructure image at X500 magnification. The microstructure image of both coils is similar and represents a ferritic structure.

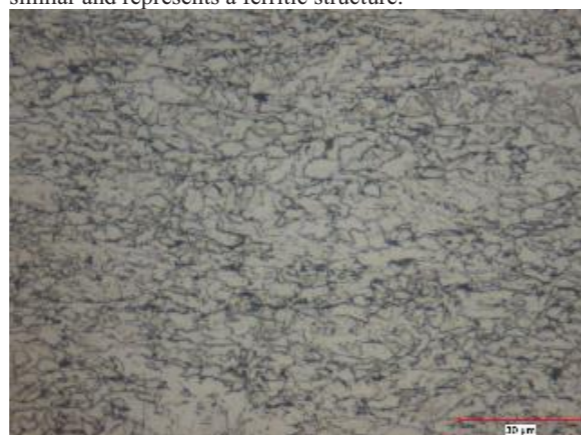


Figure 8. C-500 Microstructure

#### 4. Conclusion

Thermomechanical rolling method successfully implemented in Isdemir Hot Strip Mill for producing S700 MC grade (6-12 x1500 mm) and API X70 PSL2 grade (12-18 x 1500 mm) with compatible mechanical testing result. with the requirements of EN 10149. Reduction ratio above 3,5 while rolling below  $T_{nr}$  temperature and keeping the metallurgical mean flow stress at the final rolling stand above 270 MPa is the critical point for obtaining required mechanical results and desired microstructure including fine grains. During the production phase, to decrease the surface temperature lower than  $T_{nr}$ , material is hold in front of finishing mill for suitable time. This may increase scaling rate and red oxide formation. To improve surface quality for the customers lowering Si content and using the descaling capacity with a maximum amount plays a key role. The results obtained show the technical potential for further development of producing higher grade or producing higher thicknesses of existing grades. Furthermore, for Isdemir hot strip mill situation to keep the reduction ratio in rolling above 3 below  $T_{nr}$  temperature, technological investment of another roughing mill stand is an opportunity for producing larger thicknesses and the development of higher strength categories.

#### Acknowledgment

Authors are grateful to Doug STALHEIM from President at DGS Metallurgical Solutions, Inc. for metallurgical studies in Isdemir Hot Strip Mill, and special thanks to Ayhan AYDIN Isdemir Hot Strip Mill Manager and Serdar GUNBAY Isdemir Quality and Metallurgy Manager for supporting all efforts and trials to reach sufficient results in thermomechanical rolling method.

#### References

- [1] L.B. Godefroid, B.M.Sena, V.B.T. Filho, Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties of Seamless Steel Pipes API 5L Type Obtained by Different Processes of Heat Treatments,2017
- [2]Pulley, Alloy Design and Process Optimization,CBMM, November 2019
- [3] O. Kurpe, V. Kukhar , E. Klimov and A Prysiaznyi Thermomechanical Controlled Rolling of Steel Grade S355MC at the Wide-Strip Rolling Mill 1700mm, (2018)
- [4] Rina Consulting - Centro Sviluppo Materiali (CSM) /Italy, 2014 ( Isdemir X70-X80 studies)

## Sürekli Sıcaklık Ölçüm Sistemi ile Tandış Sıcaklığı Takibi

Tundish Temperature Monitoring with Continuous Temperature Measurement System



**Erhan SİYAMBAŞ, Hakan KAPUSUZ, Emin Serkan EMİNOĞLU,  
Ahmet Şafak ÇAKMAK**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

Dehumanization in iron-steel integrated facilities is rapidly becoming widespread in our country and in the world. Reducing the human factor in the field with the use of new technologies is of great importance for integrated facilities such as İskenderun Iron&Steel Co (İSDEMİR) to continue their existence in the sector.

In the integrated iron steel plant, the continuous casting process is a production stage in which liquid steel turns into solid steel. Liquid steel comes to the continuous casting facility in ladles, and then it is transferred to tundish then a liquid steel pool is formed. The liquid steel accumulated in the tundish is fed to the continuous casting machine, cooled along the strands, and the final shaped semi-products (solid) are obtained. The temperature of the liquid steel accumulated in the tundish is measured by the caster man with an apparatus immersed typed cartridge, by approaching the tundish and dipping the apparatus as a traditional method. The continuous temperature measuring system, on the other hand, eliminates the human factor and ensures that the temperature can be monitored continuously. Continuous monitoring of the temperature of the liquid steel accumulated in the tundish in the continuous casting facility benefits in such ways. These benefits are optimizing the casting speed according to the temperature change during casting, ensuring that the super heat temperature is in the appropriate range, reducing the defects that will be caused by the product to be produced and prevent the occupational accident compared to traditional methods.

### Özet

Demir-çelik entegre tesislerinde insansızlaştırma ülkemizde ve dünyamızda hızla yaygınlaştırılmaktadır. Yeni teknolojilerin kullanımı ile birlikte sahada insan faktörünün azaltılması, İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İSDEMİR) gibi entegre tesislerin sektörde varlığını devam ettirmesi için büyük önem arz etmektedir.

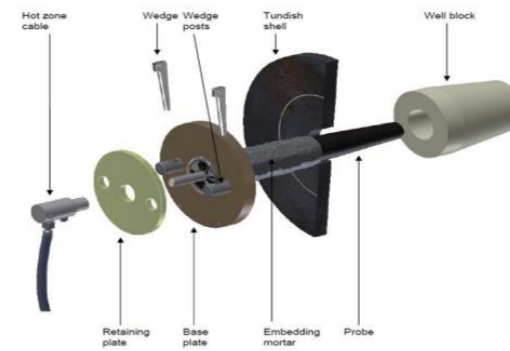
Demir-çelik entegre tesisinde; sürekli dökümler prosesi sıvı çeliğin katı çeliğe dönüştüğü bir üretim aşamasıdır. Sürekli dökümler tesisine sıvı çelik potaların içerisinde gelmekte olup ardından potalar vasıtası ile tandışlere aktarılıp sıvı

çelik havuzu oluşturulmaktadır. Tandışte biriken sıvı çelik ise sürekli döküm makinesindeki kanallara beslenilerek kanallar boyunca soğutulup son ürün (katı) elde edilmektedir. Tandışte biriken sıvı çeliğin sıcaklığı geleneksel yöntem olarak kartuş isimli aparatla personel tarafından tandışe yaklaşım aparatı daldırma yöntemi ile yapılmaktadır. Sürekli sıcaklık ölçer sistemi ise insan faktörünü ortadan kaldırıp sıcaklığın sürekli olarak takip edilebilmesini sağlamaktadır. Tandışte biriken sıvı çeliğin sıcaklığının sürekli olarak gözlemlenmesi sürekli döküm tesisinde; döküm esnasında sıcaklık değişimine göre döküm hızı optimasyonunu sağlama, super heat sıcaklığının uygun aralıkta olmasını sağlama, üretilecek olan ürünün oluşturacağı kusurları düşürme, tandış uçurmak için ısıtılan tandışın sıcaklık rejiminin sürekli olarak takip edilebilmesi, İSG açısından geleneksel yöntemlere kıyasla kaza oluşturma riskini sıfırlaması gibi sağladığı faydalar açısından çok önemlidir.

### 1. Giriş

Sürekli döküm teknolojisi çelik üretiminin sıkı bir parçası olduğundan, döküm sürecini iyileştirmek için güncel teknolojileri takip etmek ve uygulamak çıktı olarak iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Sürekli döküm, sıvı çeliğin katılaşmasının prensip olduğu bir işlemdir. Bu süreçte iyi kontrol edilen bir çelik katılaşması, yüksek kalitenin oluşmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, tandış sıcaklığının sürekli takibini yapmak çok önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir.

Sürekli döküm işleminde tandışın sıcaklığı geleneksel yöntemlerde sıcaklık ölçer kartuşu ile yapılır. Bu kartuş aparata takılıp tandış içerisine dökümcü personel tarafından daldırma işlemi yapılarak gerçekleştirilir. Sürekli sıcaklık ölçüm sistemi ise tandışe montajı gerçekleştirilen Şekil 1'deki parçalar sayesinde tandışteki sıvı çeliğin sürekli olarak sıcaklığının takibinin personel kullanımı olmadan yapılmasını sağlar. Tandışte sürekli sıcaklık ölçer sisteminin monte edildiği bölge Şekil 2'de gösterilmiştir.



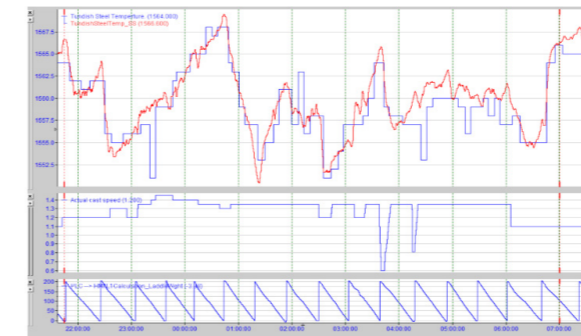
Şekil 1 Tandışe montajı gerçekleştirilen parçalar



Şekil 2 Tandışte sürekli sıcaklık ölçer sisteminin monte edildiği bölge

### 2. Deneysel Çalışmalar

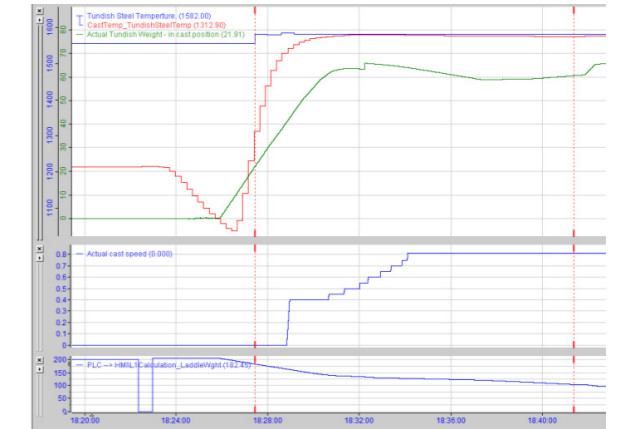
Sürekli sıcaklık ölçer sisteminin kullanımı prosese etkisinin incelenmesi için deneyler yapılmıştır. Deney kapsamında sürekli sıcaklık ölçer sisteminin işleyişi için aynı tandışte hem sistem kullanılmış olup hem de manuel olarak dökümcü personeller geleneksel yöntem ile sıcaklık ölçümleri almışlardır. Şekil 3'de sürekli sıcaklık ölçer sistemi ve geleneksel yöntemle sıcaklık ölçümü alınan dökümlerin gösterimi mevcuttur.



Şekil 3 Sürekli sıcaklık ölçer sistemi ile geleneksel yöntemin kıyaslanması

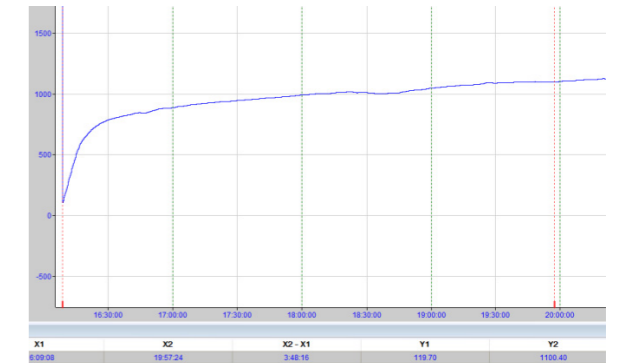
Şekil 3 'deki ilk grafikte kırmızı çizgiler sürekli sıcaklığa ait verileri gösterirken, mavi çizgi personel ölçümlerini göstermektedir. Diğer grafikler ise sırasıyla döküm hızı ve pota değişimleri verilmiştir.

Tandışte döküm başı yapılırken tandışteki sıvı çeliğin sıcaklığın ölçümünün ve sistemin nasıl reaksiyon verdiğini incelemek için deney gerçekleştirilmiştir. Deneye ait grafikler Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekildeki ilk grafikte kırmızı çizgi sürekli sıcaklık sisteminin gösterdiği sıcaklık değerlerini temsil ederken, mavi çizgi geleneksel yöntemle yapılan ölçümün sonucu gösterdiği sıcaklık değerleridir. Yeşil eğri ise tandışteki sıvı çelik ağırlığını temsil etmektedir. Diğer grafikler sırası ile döküm hızı ile pota ağırlığını temsil etmektedir.



Şekil 4 Sürekli sıcaklık ölçer sisteminin döküm başı operasyonunda denemesi

Sistemin vadettiği diğer önemli bir nokta ise yedek tandış ısıtma rejiminin takip edilebilmesine imkân vermesidir. Bu durum yetersiz ısıtma kaynaklı plansız döküm bitişlerini engelleyecek ve döküm başlarında çalışanların rahat karar almasına imkân sağlamaktadır. Şekil 5'de sürekli sıcaklık ölçer sisteminin kurulu olduğu tandışın ısıtma durumundaki tandış iç sıcaklık rejimi gösterilmiştir.



Şekil 5 Tandış ısıtma prosesinde tandış iç sıcaklığı trendi

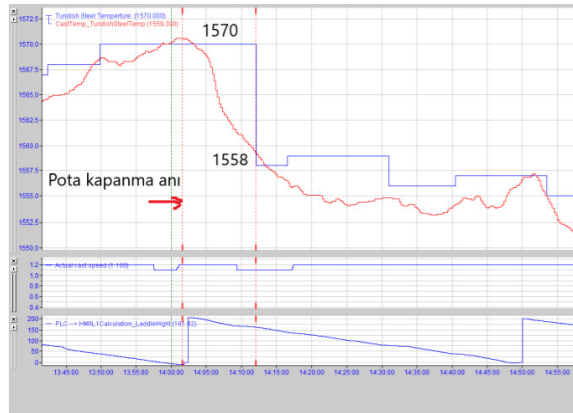
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1 Tandış Sıvı Çelik Sıcaklık Değişiminin Takibinin Değerlendirilmesi

Tandışe açılan potalar arasında sıcaklık farklılıkları oluşabilmektedir. Bu sıcaklık farklılıklarının iyi yönetilememesi, yani sıcaklık farklılıklarına uygun olarak makinede aksiyon alınmaması, dökümü gerçekleşen çeliklerde kalite kusurları oluşturabilmektedir. Bu sıcaklık farklılığını anlık olarak sürekli sıcaklık ölçer sistemiyle takip etmek operasyonel açıdan gerekli önlemleri alıp kalite kusurlarının önüne geçilmesi ile birlikte işletmeye büyük avantaj sağlamaktadır.

Şekil 6'daki ilk grafikte kırmızı tandiştaki sıvı çeliğin sıcaklığın sürekli sıcaklık ölçer sistemi ile ölçümünü gösterirken mavi eğri geleneksel yöntemle ölçümü göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere döküm operatörlerine geleneksel yöntemde 10 dakika gibi bir gecikmeli olarak tandiş sıcaklığının aslında 1558 °C olduğu bilgisi gelmiştir. Bu sürede operatörler operasyonunu sürekli sıcaklık ölçer sistemi olmasaydı tandiş sıcaklığını 1570 °C olarak görüp operasyonunu o veriyi baz olarak yürütecekti.

Şekil 6'daki 2. grafik incelendiğinde; sürekli sıcaklık ölçer sistem sayesinde operatör sıcaklığı anlık takip ederek döküm hızı parametresinde değişiklik yaparak proaktif bir şekilde önlemini alabilmiştir.



Şekil 6 Bindirme pota işleminin değerlendirilmesi

#### 3.2 İSG Açısından Sistemin Değerlendirilmesi

Geleneksel yöntemle yapılan ölçümler uygun KKD kullanımı yapan dökümcü personeller tarafından gerçekleştirilmektedir. İçi sıvı çelik dolu tandişe yakın mesafeden daldırma işlemi yapmak personeli sıvı çelik sıçramasına karşı riskli durumuna düşürmektedir. Şekil 7'de geleneksel yöntemle dair örnek görsel verilmiştir.



Şekil 7 Tandıştan geleneksel yöntem ile sıcaklık ölçümü yapılırken

### 4. Sonuç

Geleneksel yöntemle yapılan ölçüm sırasında personel üzerine ve çevreye büyük miktarda çelik sıçraması gerçekleşmektedir. Bu nedenle geçmişte yaşanmış iş kazaları ve ramak kaldılar bulunmaktadır. Geleneksel yöntemde KKD kullanımı ile riskler önlenmeye çalışılmaktadır. Sürekli sıcaklık ölçüm metodunda bu risk tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Sistemin İSG noktasındaki katkısı tartışmasız öne çıkmaktadır.

Mevcut durumda herhangi bir potanın sıcaklık değerlendirmesi 3 analizle yapılmaktadır. Bu ortalamalar üzerinden potalar değerlendirilmektedir. Sıcaklığın sürekli izlenmesi ile potaların sıcaklıkları daha anlaşılır ve anlamlı olacaktır.

Sıcaklığın sürekli izlenmesi ile döküm hızı optimizasyonu sağlanabilecektir. Sıcaklığın sürekli ölçülmesi ile model oluşturulup potanın bitiş sıcaklığı mevcut hız ile hesaplanabilecektir. Özellikle kritik anlarda (tek kanala kalma, aşırı düşük sıcaklıktaki potalar, tandiş kaydırma vb) karar almayı kolaylaştıracaktır.

Her pota için elde edilen veriler daha kapsamlı ve anlamlı olacaktır için LF tarafında uygulanan ark süreleri değişebilir. Bu duruma bağlı olarak sistem önemli bir maliyet düşürme potansiyeline sahiptir. İstasyonlarda bir yılda 20 bin üzerinde pota işlem görmektedir. Ark sürelerindeki değişim önemli maliyet avantajı yaratabilir.

Döküm sıcaklığı sürekli döküm prosesi açısından en önemli girdilerden biridir. Sıcaklıkların uygun superheat aralığında gelmesinin hem kaliteye hem de işletmesel faaliyetlere önemli katkıları olacaktır. Uygun sıcaklıklarda yapılan döküm BYÇ, EYÇ gibi yüzey kusurlarını azaltırken

segregasyon, iç çatlak gibi kusurların da azalmasına ve iyileşmesine neden olacaktır.

Geleneksel yöntemler ile ölçümler sırasında sıvı çelik yüzeyinde kartuş yanmasına bağlı açılmalar ve reoksidasyonlar gerçekleşmektedir. Bu durum istenmeyen kalite kusurlarına neden olabilmektedir. Sürekli sıcaklık ölçüm siteminde ölçüm sürekli yüzey altından yapıldığı için örtü tozunun açılması ve reoksidasyon benzeri durumlar engellenmektedir.

#### Referanslar

[1] Heraeus.com. 2022. Heraeus Hakkında. [online] Available:<[https://www.heraeus.com/tr/hen/about\\_heraeus\\_hen/about\\_heraeus\\_3/about\\_heraeus\\_hen.html](https://www.heraeus.com/tr/hen/about_heraeus_hen/about_heraeus_3/about_heraeus_hen.html)>[Accessed 22 February 2022].

[2] Mazumdar, D., 2018. Review, Analysis, and Modeling of Continuous Casting Tundish Systems. steel research international, 90(4), p.1800279.

[3] Sahai, Y., 2016. Tundish Technology for Casting Clean Steel: A Review. Metallurgical and Materials Transactions B, 47(4), pp.2095-2106.

## Yüksek Fırın Hazne Sıvı Seviye İzleme Modeli

### Blast Furnace Hearth Liquid Level Monitoring Model



**Mehmet GÖKOĞLU, Ramazan YARAŞIR**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

It is obvious that blast furnaces have an undeniable place in world steel production. In recent years, as a result of the increase in raw material prices and the increase in competition among steel production companies, efficient production in blast furnaces has come to the fore. The most important parameter of efficiency in blast furnaces is maintenance such as chamber repair that will not cause long-term unplanned downtime. The hearth and the carbon refractories around the taphole in the hopper are exposed to extreme temperatures and chemical erosion.

The Blast Furnace hearth is made of specially designed carbon refractory material and is the part where liquid pig iron (LPI) and liquid slag accumulate and these liquids are discharged by casting opening method. As a result of the rapid excessive wear of the carbon refractories around the taphole, the blast furnace can be taken to an unplanned stop for a long time for hearth maintenance. This situation reduces the efficiency of the blast furnace.

In order for the blast furnace hearth life to be long, the casting process must be optimally managed according to the blast furnace conditions. Therefore, it is necessary to pay attention to factors such as timely opening of the casting in the blast furnace by monitoring the amount of liquid material in the hearth instantly, and adequate discharge of LPI during casting.

That's why İskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) in the Blast Furnace No. 2, a hearth monitoring system has been implemented in order to optimally manage the casting process. For this system, a Level-2 hearth monitoring system application has been developed based on the data received from torpedo level measurement devices and the input data of the ore and coke charged to the furnace.

#### Özet

Dünya çelik üretiminde yüksek fırınların (YF) payı %70 olup, bu yüzden çelik üretiminde YF ile sıvı ham demir (SHD) üretimi önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda hammadde fiyatlarının artması, çelik üretim firmaları arasındaki rekabetin artması gibi nedenler sonucu yüksek fırınlarda verimli üretim ön plana çıkmıştır. YF'lerde verimliliğin en önemli parametresi, uzun süreli plansız duruşlara neden olmayacak hazne tamiri gibi bakımlardır.

YF haznesi, özel tasarımı karbon refrakterli malzemeden olup sıvı ham demir (SHD) ve sıvı cürufun biriktiği ve döküm açma yöntemiyle bu sıvıların tahliye edildiği kısımdır. Hazne ve haznede yer alan döküm deliği çevresindeki karbon refrakterler aşırı sıcaklığa ve kimyasal erozyona maruz kalmaktadır. Döküm deliği çevresindeki karbon refrakterlerin hızlı şekilde aşırı aşınması sonucu ise yüksek fırın hazne bakımı için uzun süreli plansız duruşa alınabilmektedir. Bu durum yüksek fırın verimliliğini düşürmektedir.

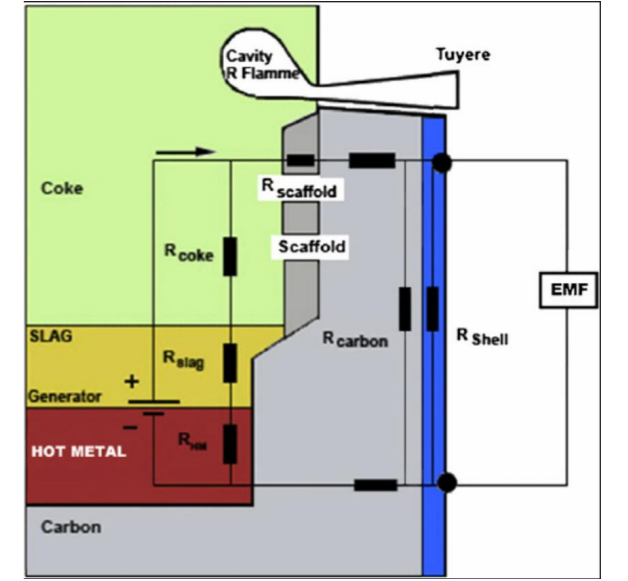
YF hazne ömrünün uzun süreli olabilmesi için döküm alma prosesinin yüksek fırın şartlarına göre optimum şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu yüzden haznedeki sıvı malzeme miktarının anlık olarak izlenerek yüksek fırında dökümün zamanında açılması, döküm sırasında yeterli şekilde SHD'nin boşaltılması gibi unsurlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) 2 No.lu Yüksek Fırında döküm sürecinin optimum şekilde yönetilmesi için hazne izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem için torpedo seviye ölçüm cihazlarından alınan veriler ve fırına şarj edilen cevher ve kokun girdi verilerine dayalı Seviye-2 hazne izleme sistemi uygulanması geliştirilmiştir.

#### 1. Giriş

Yüksek fırın (YF) haznesi, istikrarlı YF işletimi ve uzun kampanya ömrü için önemli bir rol oynamaktadır. Hazne SHD) ve cürüflara maruz kalır ve bu refrakterde ciddi kimyasal reaksiyonlara ve termal şoklara neden olur. YF'de döküm operasyonlarının ana amacı, sıvıların haznedeki uygun bir şekilde boşaltılmasını sağlamaktır. Sıvı seviyesi kritik bir sınırı aşarsa, YF'nin alt segmentinde daha yüksek basınç düşüşüne yol açar ve sorunlarla karşılaşılır. Sıvı seviyesinin kontrol edilmesi, kararlı ve verimli YF çalışması için önemlidir.

Sıvı ürünler; SHD ve cüruf geçirgen koklu kısımdan aşağıya doğru akar ve haznede toplanır. Bunlar, döküm delikleri vasıtasıyla periyodik olarak boşaltılır. İki döküm arasındaki zaman aralığı üretim hızına ve hazne hacmine bağlıdır. SHD yoğunluğu  $6.8 \text{ kg/m}^3$ , cürufun yoğunluğu ise  $1.3 \text{ kg/m}^3$  dir. Bu nedenle haznenin içinde cüruf üstte olacak şekilde ayrılmış katmanlar halinde bir arada bulunur. Alternatif olarak büyük YF'lerde iki döküm deliği açılır. Bir döküm deliği açıldığında, SHD ilk 10-15 dakika boyunca dışarı akar ve daha sonra pik ve cüruf birlikte akar. YF'lerde yaygın olarak bu proses gözlenir ve bu proses, cüruf gecikmesi (toplam döküm süresi- cüruf gelme süresi) olarak adlandırılır.

Haznenin sıvı seviyesini ölçmek için güvenilir ve doğru bir yol arayışı içinde, dünya çapında kayda değer çaba harcanmıştır, ancak YF'nin içindeki yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle, gerçek zamanlı ölçüm sistemlerinin uygulanması zordur[1-5]. Sıvı seviyesinin tahmini, hazne duvarının çeşitli noktalarında ölçülen elektromotor kuvvet (EMF) prensipleri kullanılarak birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Şekil 1)



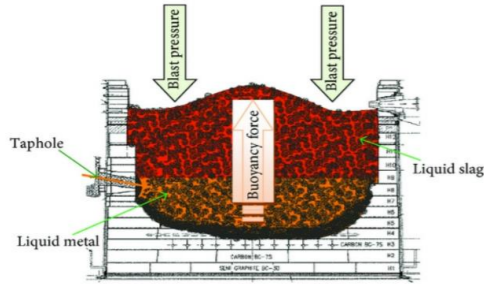
Şekil 1. YF haznesinde EMF ile ölçüm sisteminin şematik gösterimi [6]

EMF, belirgin şekilde farklı elektriksel özelliklere sahip SHD ve cürufun açık bir şekilde gerilmesinden dolayı hazne içindeki sıvı seviyesine göre değişir. Deneme seviyesi yüksek olmasına rağmen, bu teknoloji henüz ticari olarak yaygın olarak mevcut değildir[7]. Sıvı seviyesinin tespiti için optik sensörleri kullanmak için deneyler yapılmıştır[8]. Araştırmacılar, gerinim ölçerleri haznenin dış kısmına yerleştirmeyi ve bilgilerini haznenin sıvı seviyesini belirlemek için kullanmayı denediler [9]. Bu enstrümanlar hazne sınırına monte edildiğinden, hazne sıvı seviyesinin erken tahminini verir. Bununla birlikte, bu ölçümler gürültü nedeniyle doğru değildir ve kalibre edilmesi de zordur. YF'lerde döküm zamanlamasını iyileştirmek ve hazne sıvı seviyesini kontrol etmek için bir hazne sıvı seviyesi izleme (LLM) sistemi geliştirilmiştir.

SHD ve cüruf deşarj oranları, torpidoyu dolduran sıvı metalin doldurulması sırasında elde edilen radar sinyallerinden, dışarı atılan sıvı metalin ağırlığının ölçülmesi ve cüruf çıkış hızının ölçülmesi için kayış ölçeği ölçüm sisteminin kullanılmasıyla elde edilir. Bu makalede, gerçek zamanlı olarak SHD ve cüruf akış hızı tahminine dayanarak, matematiksel modellerin çoğunda sabit olduğu varsayılmaktadır[9]. SHD akış hızı, gerçek zamanlı olarak tahmin edilmektedir, bu da SHD akışının oranı zamana göre değişir ve varsayılmadığı sürece, döküm süresi boyunca sabit değildir.

## 2. Metot ve Yöntem

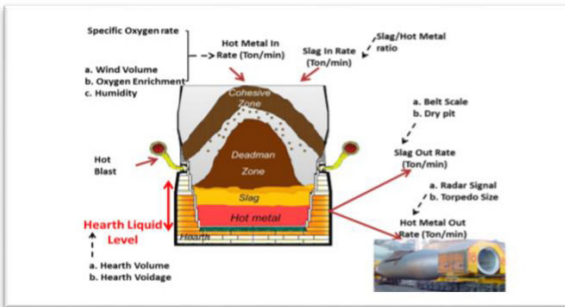
YF üretim sürecinde, YF tepesinden şarj edilen demir cevheri (sinter, pelet, parça cevher) ve metalurjik kokun tüyerlerden verilen ortalama 1200 °C sıcaklığında sıcak hava ile reaksiyonu sonucu SHD ve cüruf üretilmektedir. Üretilen SHD ve cüruf haznedeki metalurjik kok arasındaki boşluklara dolmaktadır (Şekil 2)



Şekil 2. Yüksek Fırın haznesinde metalurjik koklar arasında SHD ve cürufün temsili görünümü [10]

Haznedeki sıvı seviyesi (SHD ve cüruf) belli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra özel tasarımı matkapla döküm açılarak SHD ve cürufün drenajı gerçekleştirilir. SHD ve cürufün drenajı tamamlandıktan sonra ise özel tasarımı çamur topu içine doldurulan refrakter esash döküm deliği çamurun enjeksiyonu ile döküm kapatılır.

Haznedeki sıvı seviyesinin (SHD ve cüruf) anlık olarak izlenmesi için üretilen SHD ve cüruf miktarı, ayrıca drenaj edilen SHD ve cüruf miktarının hesaplanması yöntemiyle matematiksel model geliştirilmiştir..(Şekil 2)

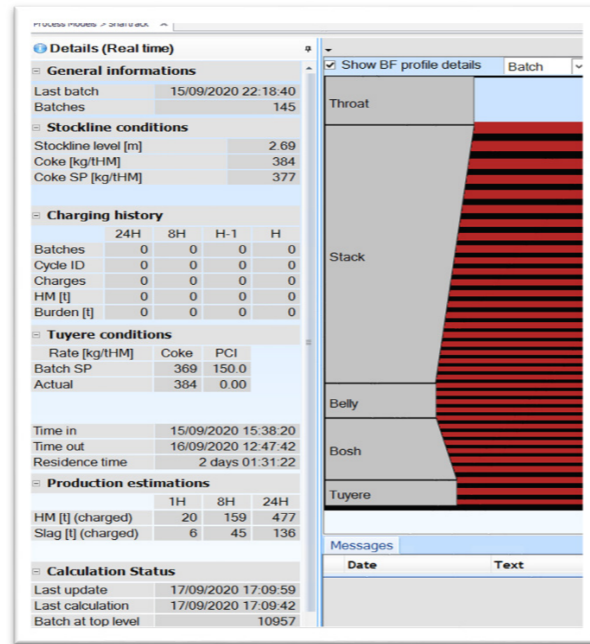


Şekil 4. YF hazne sıvı seviye modelinde kullanılan değerler

### 2.1. SHD ve Cüruf Üretiminin Hesaplanması

Şarj edilen demirli cevher ve metalurjik kokun reaksiyonu sonucu üretilen SHD ve cüruf miktarı, İSDEMİR A.Ş. 2.YF

Seviye-2 Sistemi'nde bulunan şaft simülasyon modeliyle SHD ve cüruf üretim miktarları hesaplanmaktadır. (Şekil 4)



Şekil 3.YF'de Şaft Sistemi ile üretilen SHD ve cüruf miktarının hesaplanması

### 2.2. SHD ve Cüruf Drenajının Hesaplanması

#### SHD Drenajının Hesaplanması

YF haznesinden döküm sırasında drenaj edilen SHD'nin anlık akış hızını (ton/dakika) hesaplayabilmek için, YF Dökümhanesi'nde torpido dolmu yapılan davlumbaz üzerine radar seviye sensörleri monte edilmiştir. Radar, yayılan elektromanyetik enerjinin özelliklerini kullanarak radar sinyallerinin kaynağı ile torpidodaki seviyesi arasındaki mesafeyi sürekli ölçer ve böylece torpidodaki SHD seviyesini belirler. Belirlenen SHD seviyesiyle, torpido dolmu hızından (m<sup>3</sup>/dakika) SHD drenaj oranı (TSHD/dakika) hesaplanır. Hesaplanan bu değer hazne sıvı seviye yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

#### Cüruf Drenajının Hesaplanması

YF haznesinden döküm sırasında drenaj edilen cürufün anlık akış hızını (ton/dakika) hesaplayabilmek için şu yöntem kullanılır.

Cüruf drenaj miktarı (ton/dakika): SHD drenaj oranı (TSHD/dakika) (torpido radar seviye cihazından elde edilen değer)\* cüruf oranı (kg/TSHD)\*1.20 (düzeltme katsayısı).

Buradan elde edilen cüruf drenaj miktarı (TSHD/dakika) hesaplanır. Hesaplanan bu değer hazne sıvı seviye yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

### 2.3. Hazne Sıvı Seviyesinin Hesaplanması

Çalışma yaptığımız YF'de hazne sıvı seviyesinin anlık olarak hesaplanabilmesi için öncelikle hazne faydalı hacminin hesaplanması gerekmektedir.

#### Hazne Faydalı Hacminin Hesaplanması

YF üretim sürecinde üretilen SHD ve cüruf, haznedeki metalurjik kok boşlukları arasında dolmaktadır. Metalurjik kok boşlukları arasındaki boşluk hacmi faydalı hacim olarak adlandırılır. Faydalı hacim hesaplanması için Çizelge 1'de yer alan tablodan faydalanılmıştır.

Çizelge 1: Hazne hacminin hesaplanmasında kullanılan değerler

Hazne Değerleri		
Yükseklik (m)	2,2	Döküm deliği ile tüyer eksenin 2,8 m olup güvenli alan olan 2,2 m yükseklik seçilmiştir.
Çap (m)	7,5	Hazne çapı normal şartlarda 8,5 m olup skal, hazne kirliliği vb. nedenlerden dolayı 7,5 alınmıştır.
Hacim (m <sup>3</sup> )	97,1	Hazne için belirtilen yükseklik ve çap bilgilerinden elde edilen hacim hesaplaması
Kok Arası Boşluk Oranı (%)	0,3	Kok arası boşluk literatürde kok kalitesine, PCI miktarı, vb. şartlara göre 0,2-0,5 arasında olup 0,3 seçilmiştir [14]
Faydalı Hacim (m <sup>3</sup> )	30,1	Kok boşluğu değeri sonrası elde edilen hacim
Sıvı Pik Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	6,8	Birçok literatür çalışmasında 6,8 kg/m <sup>3</sup> alınmıştır [13].
Sıvı Cüruf Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	1,3	Birçok literatür çalışmasında 2,3 kg/m <sup>3</sup> alınmıştır [13].
Cüruf Hacmi (kg/TSHD)	300	1 ton SHD üretiminde oluşan teorik sıvı cüruf

Çizelge 1'deki veriler kullanılarak hazne sıvı seviyesi hesaplanmaktadır. Bu hesaplama adımları şu şekildedir:

#### 1. Adım

Seviye-2 sisteminden 1 şarjdaki toplam üretilen SHD ve cüruf miktarı hesaplanır.

#### 2. Adım

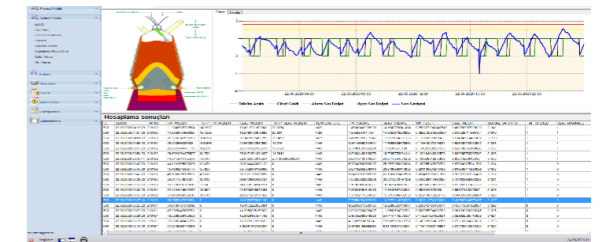
Üretilen SHD ve cürufün haznedeki oluşturduğu katman kalınlığı hesaplanır.

#### 3. Adım

Haznedeki drenaj edilen SHD (torpido radar seviye cihazından) ve cürufün drenajı hesaplanır.

#### 4. Adım

2. ve 3. adımdaki SHD ve cüruf üretim ve drenaj arasındaki fark sonucu katman kalınlıklarına göre hazne sıvı seviyesi hesaplanır.



Şekil 5: Hazne sıvı seviyesinin seviye-2 sisteminden izlenmesi

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan çalışmalar sonucunda haznedeki sıvı seviyesi seviye-2 sisteminden izlenmeye başlanmıştır. (Şekil-5)

Hazne sıvı seviyesinin anlık olarak izlenmesi ile şu faydalar sağlanmıştır:

- Döküm kapalı iken haznedeki sıvı seviyesi izlenerek, sıvı seviyesi tüyer bölgesine ulaşmadan dökümlerin açılması ve/veya açılmadığı durumlarda demirli cevher şarj hızını düşürecek tedbirler (YF'ye üflenen hava debisinin azaltılması gibi) alınmıştır. Hazne izleme seviyesi çalışması sonucu yaptığımız 2 No.lu YF'de döküm açma süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Döküm açma süresi 30 dakikayı aştığında haznedeki sıvı seviyesi tüyer seviyesine kadar yükselerek tüyer yanması gibi proses kazası riskleri oluşuyordu. Bu yüzden döküm süresi, 30 dakikanın üzerinde ise döküm arası süre riskli olarak kabul edilmektedir. Döküm kayıtları incelendiğinde, 2020 yılında riskli açılan döküm sayısı oranı %15'dir. 2021 yılında ise hazne izleme

seviyesinin devreye alınarak etkin şekilde kullanımı sonucu riskli açılan döküm sayısı %9'a düşürülmüştür.

• YF'lerde döküm açıldığında normal şartlarda önce SHD akışı başlar, 15-20 dakika sonra ise cüruf akışı başlamaktadır. Ancak döküm açıldıktan sonra cüruf akışının çok geç başlaması YF prosesini olumsuz yönde etkilemektedir. Haznedeki sıvı seviye izleme sistemi ile cüruf seviyesi ve toplam sıvı seviyesi izlenerek, cürufun akışının çok geç başlaması durumunda şu aksiyonlar alınmıştır:

- Döküm sırasında matkap ile tekrar müdahale edilerek cüruf akışının başlanması sağlanmıştır.
- Döküm açmak için 50 mm çapındaki matkap ucu yerine, 55 mm çapındaki matkap ucu kullanılarak cüruf akışının sağlanmasına yönelik aksiyonlar alınabilmektedir.

#### 4. Sonuç

YF'de hazne sıvı seviyesinin izlenmesi dökümlerin zamanında açılması ve döküm sırasında gerekli müdahalelerin yapılması sağlanmıştır.

Bunun yanında hazne izleme sisteminden kullanılan torpido radar seviye cihazları sayesinde torpidoların hacimlerin etkin kullanılarak torpido da taşınan SHD miktarı %5 artarak taşıma verimliliği artmıştır. Buna bağlı olarak torpido bakım maliyetleri düşmüştür.

#### Referanslar

- [1]. J. Brannbacka and H. Saxen: 'Mathematical modeling of iron and steel making processes. Modeling the liquid levels in the blast furnace Hearth', ISIJ Int., 2001, 41, 1131–1138.
- [2]. J. Brannbacka and H. Saxen: 'Novel model for estimation of liquid levels in the blast furnace hearth', Chem. Eng. Sci., 2004, 59, 3423– 3432.
- [3]. H. Upadhyay and T. K. Kundu: 'Drain rate and liquid level simulation in blast furnace hearth using plant Data', ISRN Metallurgy, 2013, 2013, 1–7.
- [4]. J. Brannbacka, J. Torrkulla and H. Saxen: 'Simple simulation model of blast furnace hearth', Ironmaking Steelmaking, 2005, 32, 479– 486.

- [5]. M. A. Alter, J. M. Brunner and D. J. Holmes: AISTech Proceedings, 2012, 429–438.
- [6]. Li, Y., Zan, L., Ge, Y., Wei, H., Zhang, Z., Bi, C., ... & Yu, Y. (2018). Monitoring liquid level of blast furnace hearth and torpedo ladle by electromotive force signal. Metals, 8(9), 665.
- [7]. S. Jain and D. K. Shah: 'All india seminar on instrumentation and process control'; 2014, Jamshedpur, The Institution of Engineers India.
- [8]. H. Golnabi: 'Design and operation of a fiber optic sensor for liquid level detection', Opt. Lasers Eng., 2004, 41, 801–812.
- [9]. M. O. Hattink, J. van der Stel, B. Lecacheux, S. A. Zaimi, O. Mielenz, H. P. Ruther, M. Blasner, H. Kochner, C. Ojeda, E. da Costa, E. Abreu, D. Y. Sheng, L. Sundqvist, and J. O. Wikstrom: RFCS, Report EUR 24976, The European Commission, 2008.
- [10]. H. Saxen: 'Model of draining of the blast furnace hearth with an impermeable Zone', Metall. Trans. B, 2015, 46, 421–431
- [11]. Upadhyay, H., & Kundu, T. K. (2013). Drain rate and liquid level simulation in blast furnace hearth using plant data. International Scholarly Research Notices, 2013.
- [12]. Agrawal, A., Kor, S. C., Nandy, U., Choudhary, A. R., & Tripathi, V. R. (2016). Real-time blast furnace hearth liquid level monitoring system. Ironmaking & Steelmaking, 43(7), 550-558.
- [13]. Upadhyay, H., & Kundu, T. K. (2013). Drain rate and liquid level simulation in blast furnace hearth using plant data. International Scholarly Research Notices, 2013.
- [14]. Roche, M. (2020). Modeling and analysis of blast furnace drainage.

## Çelikhane Curuflarının Farklı Endüstriyel Tesislerde Kullanımı ve Hidrometalurjik Yöntemler ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması

The Use of Converter Slags in Different Industrial Facilities and The Recycling of Calcium Carbonate by Hydrometallurgical Methods



**Muhammet BİLEN**

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

#### Abstract

Steelwork slag is one of the waste material groups obtained from İsdemir basic oxygen furnace (BOF) facilities. Their chemical compositions and properties vary according to the produced quality and production conditions. Slag is obtained in the steelmaking process, during the purification of molten iron from impurities. Various researches are carried out for the use of steel slag in different industrial facilities. One of the most important factors in determining the usability of steelwork slag as raw material in different production areas is the economic contribution of the process. Today, a large part of the slag is used or discarded without fully exploiting its properties.

In this study, the general usage areas and potential sectors of the steel mill slags and recovery conditions of high purity calcium carbonate by injection of carbon dioxide into the leach solution in which Ca<sup>2+</sup> ions were selectively extracted from the basic oxygen furnace (bof) slag of İskenderun Iron and Steel Works Co. by using acetic acid were studied. In the leaching experiments, effects of the acid concentration, solid / liquid ratio, particle size, and the leaching period on the dissolution of the Ca<sup>2+</sup> and other impurity ions into the solution were determined. Also, effects of NaOH addition, temperature, gas pressure and the period on the precipitation of Ca<sup>2+</sup> ions in the solution as CaCO<sub>3</sub> particles were investigated.

#### Özet

Çelikhane curufları, İsdemir bazik oksijen fırını (BOF) tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri, üretilen kalite ve üretim şartlarına göre değişmektedir. Curuf, çelik üretim prosesinde, ergimiş haldeki demirin safsızlıklardan arındırılması aşamasında elde edilmektedir. Çelikhane curuflarının farklı endüstriyel tesislerde kullanımı için çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Çelikhane curufunun farklı üretim alanlarına hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesindeki önemli faktörlerden bir tanesi işlemin ekonomik katkılarıdır. Günümüzde, curufların büyük bir

kısmı, özelliklerinden tam anlamıyla yararlanılmadan kullanılmakta veya kullanılmadan atılmaktadır.

Bu çalışmada çelikhane curuflarının genel kullanım alanları ve potansiyel sektörler ile İsdemir bazik oksijen fırını curuflarının asetik asit ile liç işlemi sonrasında kalsiyumun selektif bir çözünme ile çözeltilmesi ve elde edilen bu çözeltilmeye CO<sub>2</sub> verilerek yüksek saflıkta katı kalsiyum karbonatın kazanım koşulları araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, özütleme deneyleri sırasında asit derişiminin, katı-sıvı oranının, sıcaklığın, tane boyutunun, sürenin kalsiyum ve safsızlıkların çözeltilmeye geçmesine etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda Ca<sup>2+</sup> iyonlarının çöktürülmüş kalsiyum karbonata dönüşmesi sırasında NaOH miktarı, sıcaklık, gaz basıncı ve sürenin etkisi üzerinde durulmuştur.

#### 1. Giriş

Curuflar, çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri, elde edildikleri tesisin ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Demir çelik fabrikaları yan ürünlerinden olan çelikhane curufu, çelik üretim prosesinde, ergimiş haldeki demirin safsızlıklardan arındırılması aşamasında elde edilmektedir. Çelikhane curuflarının farklı endüstriyel tesislerde kullanımı için çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Çelikhane curufunun farklı üretim alanlarına hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesindeki en önemli faktörlerden bir tanesi işlemin ekonomik katkılarıdır. Günümüzde, curufların büyük bir kısmı, özelliklerinden tam anlamıyla yararlanılmadan kullanılmakta veya kullanılmadan atılmaktadır (Dündar,2006).

Son yıllarda demir çelik fabrikaları, çevre koruma ve geri dönüşüm konusunda çeşitli programlar üzerine yoğunlaşarak, kullanılmayan atık malzeme oranını sıfıra indirmeye çalışmaktadırlar. Entegre bir çelik tesisinde üretilen katı atık toplamının %90'ını yüksek fırın ve çelikhane curufu oluşturmaktadır. Çelik curufları esas olarak kalsiyum, demir, magnezyum ve mangan oksitlerin ergiyerek oluşturduğu kalsiyum silikat ve alümino-ferriten meydana gelmektedir. Üretilen çeliğin özelliklerine bağlı



olarak kimyasal içerik farklılıklar göstermektedir. Çelikhane curufundan maksimum fayda sağlamak günümüzün temel itici güçlerinden biridir. Yüksek fırın curufuna kıyasla çelikhane curufunun kullanımını geliştirebilme olanağı daha fazladır. Çelikhane curufunun çeşitli uygulamalarda kullanmak amacıyla geri kazanımını artırmak için global ölçekte çabalar sürmektedir (Günay ve Kara, 2005). Bu çalışmada İsdemir'de üretilen bir yan ürün olan çelikhane (BOF) curuflarından liç / karbonatlaştırma prosesi ile kalsiyum karbonat kazanılması üzerinde durulacaktır.

### 1.1. Curuf Değerlendirme İşlemleri

Günümüzde çeşitli ülkelerde çelikhane curufuna uygulanan bir dizi işlemlerden sonra:

- Elde edilen parça ve granüle haldeki metalikler, (manyetik hurdalar) çelikhanede hurda girdisi olarak;
- Toz haldeki metalik ürünler ve ince kırılmış curuflar, sinter harmanına şarj malzemesi olarak;
- Metalikleri ayıklanmış çeşitli ebatlarda sınıflandırılmış curuflar ise:
  - ✓ Karayollarında asfalt kaplama malzemesi olarak; (yüzey, temel ve dolgu malzemesi)
  - ✓ Tarım toprağını iyileştirme malzemesi olarak;
  - ✓ Çimento klinkeri için hammadde olarak;
  - ✓ Betonarme için ince agrega olarak; (Curufun hızlı soğutulması halinde)
  - ✓ Çeşitli amaçlarla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Altan, 2001).

Demir çelik endüstrisinde yılda yaklaşık 1.3 milyar ton çelik üretilirken, 500 milyon ton yan ürün, katı atık ve çamurun ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Entegre demir çelik tesisleri büyük miktarlarda katı atık üretilir. Bu alanda yapılan bir çok çalışmanın da gösterdiği gibi bir ton çelik üretimi sırasında yaklaşık 400-450 kg katı atık üretilmektedir. Bu katı atıklar genelde yüksek fırın ve çelikhane curufları, tozları, çamurları, haddehane tufalı, kullanılmış refrakterler vs. dir. Günümüzün ilk eğilimi, çelikhane curufunun maksimum oranda kullanılmasıdır.

Yüksek fırın curufuyla kıyasladığımızda çelikhane curufunun kullanımını çok daha fazla geliştirebiliriz. Çelikhane curufuna uygulanan çeşitli işlemlerden sonra:

- Elde edilen parça ve granüle haldeki metalikler, (manyetik hurdalar) çelikhanede hurda girdisi olarak;
- Toz haldeki metalik ürünler ve ince kırılmış curuflar, sinter harmanına şarj malzemesi olarak;
- Metalikleri ayıklanmış çeşitli ebatlarda sınıflandırılmış curuflar ise:
  - ✓ Karayollarında asfalt kaplama malzemesi olarak; (yüzey, temel ve dolgu malzemesi)
  - ✓ Tarım toprağını iyileştirme malzemesi olarak;
  - ✓ Çimento klinkeri için hammadde olarak;
  - ✓ Betonarme için ince agrega olarak; (Curufun hızlı soğutulması halinde)
  - ✓ Çeşitli amaçlarla dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Altan, 2001).

Geri kazanım (değerlendirilebilir atıkların geri dönüşümü) atıkların kaynağında ayrı toplanmasını ve cinslerine göre sınıflandırılmasını gerekli kılar. Bu nedenle curufların kimyasal ve diğer analiz yöntemlerinden sonra nerede kullanılabileceklerine karar verilebilir. Çelik, yüzyıllardan beri değişik yöntemlerle üretilmiştir. Buralarda oluşan çelikhane curufları, yüksek fırın curufları ile beraber demir çelik curufları olarak adlandırılır. Günümüzde birçok ülkede yüksek fırın curuflarının tamamı, çelikhane curuflarının ise % 75-80'i farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

### 1.1. Çimento Üretiminde Curuf Kullanımı

Çelikhane curuflarının çimento endüstrisinde kullanımına yönelik araştırmalar halen devam etmektedir. Bu araştırmalar kapsamında, çelikhane curufunun çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılmasında iki yöntem daha ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden ilkinde çelikhane curufu doğrudan çimento hammaddesine belirli bir oranda katılarak, fırın değirmeninde beraber öğütülerek prosese sokulmaktadır. İkinci yöntemde ise tane boyu 20 mm'ye kadar olan çelikhane curufu döner fırının besleme veya çıkış ucundan fırına beslenerek prosese sokulmaktadır. İkinci yöntemde klinker üretiminde yaklaşık % 15'e kadar bir artış sağlanmakta ve CO2 ile NOX emisyonları düşmektedir (Dündar, 2006).

Çelik curuf çimentosunun uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- İnşaat mühendisliği uygulamaları
- Endüstriyel bina uygulamaları
- Baraj yapımı uygulamaları
- Yol yapımı uygulamaları (Günay ve Kara, 2005).

Yapılan araştırmalara göre, çelik curufunun geleneksel çimentodan farklı özellikleri şunlardır:

1. İlerleyen süreyle birlikte yüksek mukavemet
2. Düşük sıcaklıkta hidratasyon
3. İyi aşınma direnci
4. İyi geçirgenlik
5. Mikro genleşme
6. İyi donma ve korozyon dayanımıdır.

Çimento deneyleri kapsamında, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği ARGE Enstitüsü Laboratuvarlarında deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneyler ile % 20 çelikhane curufu + % 80 portland çimento karışımında hacim genleşmesinin standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı, çelikhane curufunun portland çimentoya % 20 oranında katkı olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Portland çimento ve % 20 oranında çelik curuf (5 adet çelik curufu ve 1 adet Yüksek fırın curufu) katkılı çimento numuneleri, farklı boyutlardaki çelik curuf numunelerinden eşit miktarda alınarak harman yapılmıştır. Karışım çimento harman numunelerinde; basınç dayanımı, priz süreleri, hacim genleşmesi, kıvam suyu, ve su emme oranları gibi fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Portland

çimentoda çelik curufunun kullanılabilmesi için optimum ön öğütme süresi 55 dakika olarak tespit edilmiştir. Çelik curuf numunelerinin priz süresi, hacim genleşme değerleri ve kıvam suyu miktarları, portland çimento ile kıyaslandığında benzer sonuçlar verdiği ve standartlara uygun olduğu görülmüştür. Referans Portland çimentodan farklı olarak başlangıç priz süreleri daha geç başlamakta ve priz daha uzun sürede sona ermektedir (Günay ve Kara, 2005).

### 1.2. Karayollarında Curuf Kullanımı

Çelikhane curufu, dayanımı yüksek olduğu için altyapı malzemesi olarak, arazide tesviye işlemlerinde, yol yapımı, su yapıları için dolgu ve balast malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Yol yapımında uygulamaya etkisi olan özellikleri; kireç dağılımı, demir dağılımı, serbest kirece bağlı genleşme, gözenekler, yetersiz kristalleşmedir. Bu özellikler dolayısıyla uygulamada serbest kirece bağlı genleşme gözlenemez. Bunun önüne geçilmesi ve curufun yapısında doğal olarak mevcut olan serbest kirecin özelliklerini kaybetmesi için yola serilmeden önce uzun süre bekletilmelidir. Kırılma dayanımı, yol yapımında kullanılan balast malzemeleri ile mukayese edilecek kadar iyidir. Curuf, yol kaplama malzemesi olarak 1980'de Linz'de kullanılmış, ~5 cm kalınlığındaki kaplama üzerinden 90~140 tonluk ağır ekipmanlar geçirilerek yapılan denemelerde bir deformasyon gözlenmemiştir (Altan, 2001). Çelikhane Curufu Kullanarak Asfalt Üretiminin Avantajları: Çelikhane curufu çok yoğun ve sert bir malzemedir. Stabilitelerinin yüksek olmasından dolayı bazı durumlarda daha ince asfalt döşenmesine imkan sağlamaktadır. Kararlılıkları, sertlikleri ve iyi bağlanma özellikleri kaliteli asfalt üretilmesini mümkün kılmaktadır. Curuf agregalarının köşeli bir yapıda olması ve böylece tanelerin bir birlerine daha sıkı kenetlenmelerini çurufu asfaltların tekerlek izi oluşum dirençlerini artırmaktadır. Yüksek kayma (patinaj) direncine sahip olmaları nedeniyle yolların güvenliği artmaktadır. Curuf agregalarının bitüm ile kuvvetli bağ oluşturabilme özelliğinden dolayı soyulma direnci yüksek asfalt üretilmektedir. Curuf tanelerinin dayanımlarının yüksek olması ve tanelerin birbirleri ile çok iyi kenetlenmelerini, yüksek sıcaklık koşullarında bile asfaltın kalıcı deformasyon direncini artırmaktadır. Bünyelerinde daha uzun süre ile ısıyı tutabilmektedirler. Bu özellikleri asfalt döşeme ve sıkıştırma işlemleri için avantaj oluşturmaktadır. Çünkü sıcak asfaltın döşenmesi ve sıkıştırılması soğuk asfalta nazaran çok daha kolaydır (İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004). Çelikhane Curufu Kullanarak Asfalt Üretiminin Dezavantajları: Bunlar, özgül ağırlıklarının yüksek olmasından dolayı nakliye maliyetlerinin klasik agregalarından yaklaşık % 20 daha pahalı olması ve serbest kireç içerdikleri için potansiyel hacimsel genleşme problemlerinin olmasıdır. Ancak çok uygun fiziksel özelliklerinden dolayı daha kaliteli ve uzun ömürlü asfalt üretimine imkan sağlamaları, taşıma maliyetlerindeki artışı tolere edebilmektedir. Potansiyel hacimsel genleşme

problemleri ise curufta bulunan kirecin hidratasyonu amacıyla uygun yaşlandırma prosesinden geçirilmesiyle çözülebilmektedir (İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004).

Yaşlandırma prosesi: Yaşlandırma prosesi stok sahalarında curufların atmosferik koşullarda bir süre bekletilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu süre genellikle 6 ay'dır. Ancak buharlı yaşlandırma prosesinin daha kısa sürelerde oldukça etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Yaşlandırma prosesinin hızlı gerçekleşmesi için G. Kore Posco Şirketinde bu konuda tesis geliştirilmiştir. (<http://www.posco.co.kr> POSCO / Sustainability)

### 1.3. Balast Malzeme Olarak Curuf Kullanımı

Balast, platform üzerine konan traverslerin içinde gömülü oldukları kırma taş tabakasına denir. Üst yapı sisteminde balastın başlıca üç görevi vardır. Bu görevlerin başında dingillerden raya ve traverse gelen düşey yükleri platform üzerinde daha büyük sahaya yaymak ve yatay tesirler neticesinde ray ve travers çerçevesinin hareketlerine karşı koymak gelir. Balastın ikinci görevi, vagonların üzerinde yuvarlandıkları yola bir miktar elastikiyet vermektir. Hızın çok arttığı bu zamanda yolda bir miktar elastikliğin bulunması, yolcu konforu ve vagon ile yolun bakımı için faydalıdır. Balastın üçüncü görevi ise platform üzerinde bitkilerin bitmesine engel olması ve bazı durumlarda platformu dona karşı muhafaza etmesidir. Çelikhane curufunun fiziksel özelliklerinin hem standart değerlere, hem de DDY şartnamesinde belirtilen değerlere göre uyumlu olduğu görülmüştür. Çelikhane curufu balast malzemesi olarak kullanılması için TSE ve DDY şartnamesine göre gerekli özellikleri sağlamaktadır. DDY Yol dairesi Başkanlığı Varyantlar Grup Müdürlüğü Alt Yapı laboratuvarında, TS 7043 standardının gerektirdiği testler yapılmıştır. Çelikhane curufu kullanılarak yapılan test sonuçları, TS 7043'de belirtilen balast özelliklerini taşımaktadır (Günay ve Kara, 2005).

### 1.4. Gübre Üretiminde Curuf Kullanımı

BOF curufu yeteri miktarda CaO ve MgO ihtiva eder ve asitli toprakta toprağın doğal asitliğini azaltan olarak kullanılır. Curuftaki fosfor ve çeşitli mineraller, toprağı tarımsal açıdan gübre gibi daha kullanışlı yapılar ve toprağı dağılırlar. Avrupa da BOF curufu büyük ölçüde bu özellikte kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda curufun % 20' sini gübre olarak değerlendirilmektedir (Steel Times International, 2000).

### 1.5. Sinter Tesisinde Curuf Kullanımı

Sinter beslemesine % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında çelikhane curufu eklenmesi G. Kore 'de Pohang işletmelerinde yapılmaktadır. Curufun ortalama büyüklüğü kireç taşından büyük olduğundan Sinter yatağının akışı geliştirilmiş ve sinterleme zamanı kısaltılmıştır. Ayrılanmış

curuf eklemeleri % 2 'ye kadar optimaldir (Steel Times International, 2000).

Çoğu çelik üretim curufları başlıca CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> ve FeO içerirler. Düşük fosforlu çelik üretim pratiklerinde bu oksitlerin sıvı curuf içindeki toplam konsantrasyonları % 90 civarındadır. Bu nedenle BOF curufları en basit olarak CaOMgO-SiO<sub>2</sub>-FeO dörtlü sistemi olarak değerlendirilir. Curufta CaO'nin çözünürlüğü, curufun dikalsiyum silikatla doymuş olmasıyla sınırlıdır. Bu nedenle curufta her zaman üzeri ince dikalsiyum silikatla kaplı çözünmemiş kireç parçaları vardır. Magnezya, curufun diğer önemli bileşenidir. BOF curufu; curuf özelliği taşımamasının yanında, bileşiminde önemli miktarlarda Fe ve Mn bulundurması nedeni ile, belli bir değere sahip olan ve fakat genellikle atılan bir maddedir. Demir çelik üretiminde sıvı ham demirin çeliğe dönüştürülmesinde oluşturulan bu bazik curufun kimyasal bileşiminde genel olarak, başlıca % 15-20 Fe, % 4-9 SiO<sub>2</sub>, % 45-53 CaO, % 3,7-5,7 MnO, % 2 max MgO, % 0,95 max P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bulunur. Demir çelik üretiminde, bu maddelerin arasında sadece fosfor olumsuzluk yaratabilir. Demir cevheri sinteri harmanına BOF curufu ilavesiyle; sinterin curuflaştırıcı ihtiyacı karşılanabildiği gibi, atık duruma gelmiş önemli miktardaki Fe ve Mn yeniden kazanılabilmektedir. Benzer amaçlarla, entegre demir çelik tesislerinde sinter harmanına BOF curufu ilavesi yapılmaktadır (Mumu ve ark., 2001).

Çelikhaneden alınan curuf, kırılıp öğütülerek manyetik ayırmadan geçirilmektedir. Metalik demir kısmı alındıktan sonra sinter harmanına ilave edilmektedir. Bazik oksijen fırını (BOF) curufunun diğer flaks bileşenleri ile yapılan karışımında; 1,28 kg BOF curufunun 1 kg flaks eşdeğerinde olduğu bulunmuştur. BOF curufunun sinter harmanına ilave edilme oranı % 7 civarındadır (Mumcu ve ark., 2001).

## 1.6. Grit Üretiminde Curuf Kullanımı

Grit: Malzeme yüzeylerin temizlenmesinde kullanılan geleneksel yöntem, basınçlı hava ve aşındırıcı partikül (grit) karışımının püskürtüldüğü kum raspasıdır. Kum raspası, boya öncesi çelik konstrüksiyonların ve tersanelerde yeni yapılan ya da bakımdaki gemi gövde yüzeylerinin boya ve korozyon ürünlerinden temizlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Curuf esaslı gritler ucuz olmaları nedeniyle, gemi inşa sektörü, tamir bakım tersaneleri ve sualtı tanklarının temizlenmesinde endüstriyel kullanıma sahiptir. Curuf kullanımı 800-1000 ton/yıldır (1 Gemi bakımı için). Ülkemizde kullanılmakta olan grit 30-140 \$/ton bedelle yurtdışından ithal edilmektedir (İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004).

## 1.7. BOF Tesisinde Demiri Ayrıştırılan Curuf Kullanımı

Çelik üretim ve kütük döküm prosesi esnasında sistem gereği curufa geçmiş olan hurda; konverterlere hurda şarjında kullanılmak üzere geri kazanılarak kullanılmaktadır. Çelik ve kütük üretimi esnasında açığa çıkan curuf, ayrıştırılarak geri kazanılması amacıyla curuf

saahasında toplanmaktadır. Curuf potasından sahaya dökülen sıvı haldeki curuf, üzerine kontrollü olarak verilen soğutma suyu ile karşılaştığında katılaşır ve kristalleşip gri ve az gözenekli bir malzeme haline almaktadır. Curuf sahasında kırılan ve belli ebatlarda ayrılarak stoklanan curuflar, manyetik seperatörle demirli kısımlarından ayrılır ve bu demir içerikli olanlar konvertere hurda olarak şarj edilir. Boyutları küçük olan kısımlar ise belli oranlarda sinter üretiminde kullanılır. Çelikhanede kullanılabilecek hurdaların metalik demir oranının ağırlıkça en az % 80 olması istenmektedir. Bu bakımdan elde edilen hurda içindeki metalik oranını artırmak üzere çalışmalar sürmektedir. Curuftan elde edilen manyetik hurdaların üzerinde ve gözeneklerinde yine curuf parçacıkları bulunmakta ve metalik oranının yükseltilmesi için bu curuf parçacıklarının hurdadan mümkün olduğu kadar ayrılması gerekmektedir (Altan, 2001).

## 1.8. Dünyada Çelikhane Curufunun Değerlendirilmesi

Global çabalar BOF curufunun çeşitli uygulamalarda geri kazanım olarak kullanılması artarak devam ediyor. Asıl amaç ise çelikhane curufunun % 100 tekrar kullanımınıdır. Her zaman çelikhanelerde demir çelik curufunun doğru değerlendirilmesi için çalışılmıştır. Katı atık malzemelerin farklı ülkelerdeki ve Hindistan'daki geniş şablonda üretimi ve geri kullanımı aşağıdaki örneklerde gösterilmektedir. Çelik curufu ayrı ayrı sahalarda stoklanarak, spesifik özelliklerine bağlı olarak bir çok alanda uygulanmaktadır. Örneğin;

- Çin'deki sahalarda çimento üretimi üzerinde bildirelerini sunmuşlardır.
- Bazı Japon sahaları yol yapımı üzerinde odaklanmıştır.
- G. Kore 'deki Posco çelik işletmeleri, yüksek fırınlarda ve sinterlerdeki alaşımın malzemesi olarak kullanımı olayına önem vermektedirler.
- G. Kore 'deki Pohong İşletmelerinde % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranında sinter beslemesine alaşım malzemesi olarak çelikhane curufu eklenmiştir. Ayarlanmış curuf eklemesinin % 2'ye kadar optimal olduğu görülmüştür.
- Avrupa'da, curuf gübre ve toprak havalandırıcı olarak kullanılır. Yüksek fırınlar ve tarımsal topraklar arasında geri dönüşümlü bir döngü gibi işlem görür.
- Hindistan sahaları tamamen çelik curufun kullanımını maksimum yapan bir politika izlemek zorundadır.
- Japonyada yoğun, sert ve çakıla benzer şekliyle çelikhane curuflarının uzun yıllardır, agrega olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda çelikhane curuflarının fiziksel özellikleri, bu özelliklerin zamanla değişimi, agrega olarak stabilizasyonu ele alınmıştır. Curuflar kullanılarak yapılan ve kullanımda olan yollar incelenmiştir.
- Endüstriyel atıklar içerisinde büyük gruplar oluşturan yüksek fırın curuflarının ekonomik değerlendirilmesine yönelik çalışmalar batı ülkelerinde uzun yıllardan beri sürmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde 12 milyon

m<sup>3</sup>'den daha fazla curuftan cam seramik üretilmiş ve kullanılmıştır.

ı) Avustralya'da üretilen çelik curufunun % 64'ü yol temel malzemesinde ve asfaltta kullanılmaktadır (Turan ve Kaya, 2003).

## 1.9. Türkiye'de Çelikhane Curufunun Değerlendirilmesi

Türkiye'de demir-çelik üretimi sırasında katı atıklar çıkmaktadır. Ülkemizde açığa çıkan çelikhane curufunun büyük bir kısmı kullanılmamakta ve atık sahalarda depolanmaktadır.

Erdemir A.Ş.'deki Çalışmalar:

Erdemir'de çelik üretimi sonucunda yılda yaklaşık olarak 400.000 ton (100-150 kg/ton sıvı çelik) arasında üretilen çelikhane curufu, kırma-eleme tesisinde işlenmekte ve metalik kısım konverterlerde hurda olarak değerlendirilmektedir. 0-10 mm tane boyu aralığındaki kısmı, 130-140 bin ton/yıl oranlarında sinter üretiminde kullanılmaktadır. Ancak yüksek fırın sıcak metal fosfor içeriğini artırmasından dolayı, sinterde kullanımı sınırlı olmaktadır. Konvertöre yüksek fosforlu sıvı metal şarj edildiği zaman çeliğin temizliği bozulmakta, oksijen ve kireç tüketimi artmaktadır. Yapılan bir araştırma projesi ile curufların karayolu agregası ve demiryolu balast malzemesi olarak kullanım imkânları araştırılmıştır. Yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucunda curufun karayolu agregası ve demiryolu balast malzemesi olarak kullanılması için gerekli özellikleri taşıdığı ortaya konmuştur.

Erdemir'de Grit Yapımı: Grit yapımı konusunda araştırma ve çalışmalar devam etmektedir. Grit yapımı için ergitme işlemleri yapılarak özel bir şekilde katılaşması sağlanmaktadır. Sonuçlar uygun bulunduğu takdirde grit malzemesi olarak değerlendirilebilecektir. Erdemir'de Çelikhane Katkılı Yüksek Fırın Curufundan Faydalanma: Yüksek fırın curufunun kullanımı birçok uygulamada standart hale gelmiş olup çelikhane curufuna göre daha rahat faydalanılabilmektedir. Bu nedenle yüksek fırın curufuna çelikhane curufu da katılarak çalışmalar yapılmaktadır (İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004).

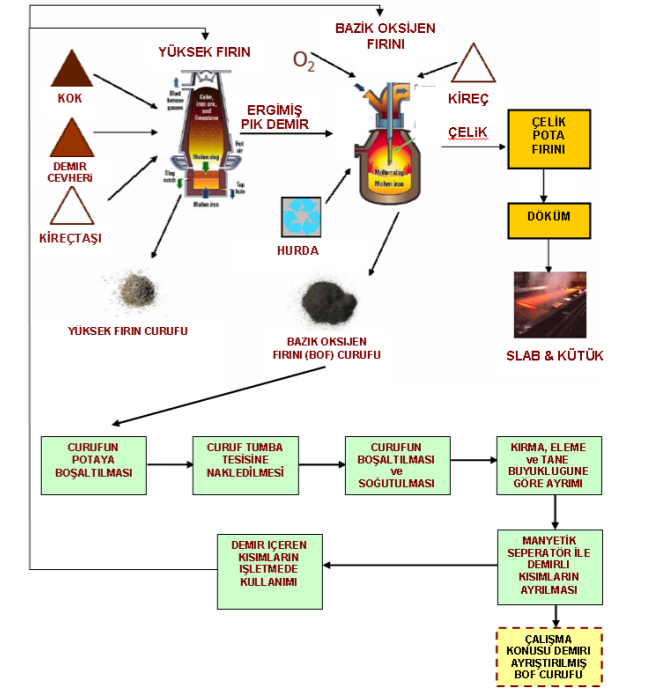
İsdemir A.Ş.'deki Çalışmalar:

Çelikhane ünitesinde çelik üretimi sırasında yılda ortalama olarak 300-500 bin ton kadar skal ve curuf malzemesinin çıktığı ve curuf döküm alanına döküldüğü bildirilmektedir. Ancak, son yıllarda teknolojik gelişim doğrultusunda çelikhane curufu % 2,5 oranında cevher ile karıştırıldıktan sonra sintere ilave edilmektedir. Bu şekilde çelikhane curufunun geri kazanımı sağlanmıştır. İsdemir curuf sahasındaki curufun tamamına yakını müteahhit tarafından ayrıştırma işleminden geçmiştir. Çelikhane curufundan, % 3-5 kadar demir tıpkı bir açık işletme gibi ekskavatörlerle kamyonla yüklenerek manyetik kırıcılarla ve seperatörlerle steril curufta ayrılarak ekonomiye kazandırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan çelikhane curuflarının % kimyasal analizleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Buna göre çözeltiyne alınmak üzere liç işlemine tabi tutulacak olan malzemenin yaklaşık yarısının kalsiyum esaslı olduğu görülmektedir.

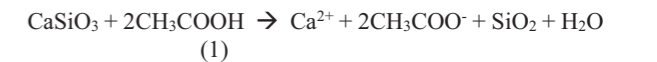
Si	Ca	AL <sub>2</sub>	M	Fe	S	M	K <sub>2</sub>	Ti	Fe	P <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	O	O <sub>3</sub>	gO	O	O	nO	O	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>5</sub>	O <sub>3</sub>
14,1	48,8	2,1	4,0	17,7	0,2	4,9	0,1	0,6	17,3	1,9	6,9



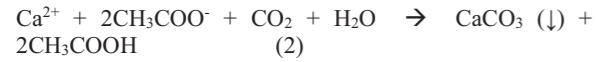
Şekil 1. Akış ve deneysel çalışma bölümü.

## 2.1 Konverter Curuflarının Asetik Asit (CH<sub>3</sub>COOH) ile Çözeltiyne Alınması

Çelikhane curuflarının asetik asitle liç işlemi sonucunda kalsiyum özütlenmesi aşağıda verilen temel reaksiyonun gereği olarak gerçekleştirilmiştir.



## 2.2. Kalsiyum Karbonatın Çöktürülmesi

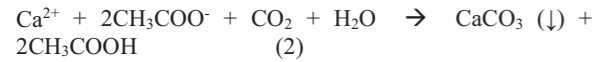


Çelikhane curuflarının asetik asit ile çözünmesi ile oluşan çözeltinin katı-sıvı ayrımı yapıldıktan sonra, çözeltiden  $\text{Ca}^{2+}$  iyonlarının  $\text{CaCO}_3$  olarak çöktürülmesi ve çözeltideki diğer safsızlıkların (magnezyum, demir, silis gibi) çözeltide bırakılarak selektif bir çökeltmenin gerçekleştirilmesi çalışmanın en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu amaçla 2-4  $\mu\text{m}$  süzgeç kağıdından geçirilmiş temiz ve içinde kalsiyum asetat iyonları barındıran çözeltiden  $\text{Ca}^{2+}$  iyonlarının  $\text{CaCO}_3$  olarak çöktürülmesi için, çeşitli şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çöktürme deneylerinin öncesinde ve sonrasında orijinal çözelti numunesinin pH değeri ölçülmüştür.

### 2.3. Araştırma Bulguları

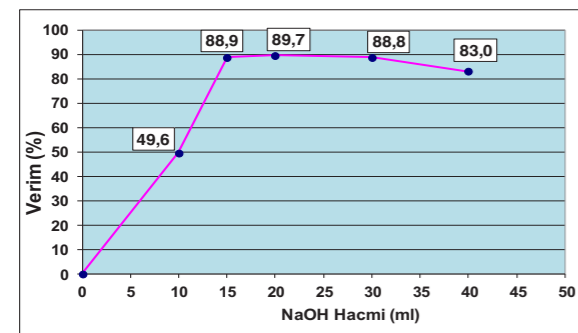
#### 2.3.1. NaOH Miktarının Etkisi

Özütleme sırasında çözeltiye geçen kalsiyum iyonları, kalsiyum asetat bileşimindedir. Bu çözeltinin pH'ı özütleme devresindeki parametrelere bağlı olup en optimum şartlarda yani 0,7 M asit derişiminin, % 6,5 katı sıvı oranının, 50 °C sıcaklığın ve 0,10 mm altı tane boyutunun ve 2 saat sürenin geçerli olduğu deney şartlarında katı sıvı ayrımı sonrası elde edilen çözeltinin pH'ı yaklaşık 8'dir. Bu çözeltiye  $\text{CO}_2$  gazı verilerek istendiğinde asetat varlığından ötürü (2) nolu reaksiyon oluşmaz.



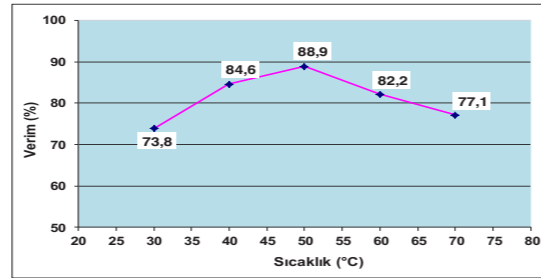
Kalsiyum'dan asetatı ayırmak için ağırlıkça % 50'lik NaOH çözeltisi kullanılır. İlave edilen sodyum, asetat ile birleşerek sodyum asetat oluştururken  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  meydana gelir ve renksiz olan çözeltinin rengi, ilk NaOH damlası ile birlikte hızla beyaza döner.

Ç.K.K. elde edilmesi için en önemli kademeden çözeltiye ilave edilen NaOH miktarı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, özütleme devresinden elde edilen 400 ml'lik çözeltilere 10 ml, 15 ml, 20 ml, 30 ml ve 40 ml NaOH ilave edilerek 50°C sıcaklıkta 2 bar basınç ve 10 dakika süre ile 600 d/dk karıştırma hızında bir dizi deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



#### 2.3.2. Sıcaklığın Etkisi

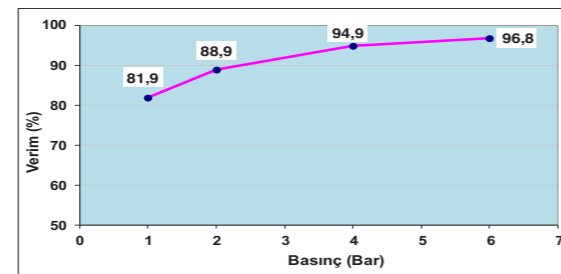
Deney sıcaklığının çöktürme verimini ve elde edilecek olan katının kimyasal bileşimi ile ilişkisini tespit etmek için 10 dakika süre ve 2 bar  $\text{CO}_2$  basıncı sabit tutularak ile 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarında çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney sonunda katı-sıvı ayrımı yapılmış ve çöken katı miktarı tespit edilerek XRF cihazında eritiş metodu ile kireçtaşı ve oksit programlarında paralel olarak kimyasal analizleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Sıcaklık artışına paralel olarak veriminin arttığı ve 50°C'den sonra azalma eğilimine girdiği görülmektedir.

#### 2.3.3. Basıncın Etkisi

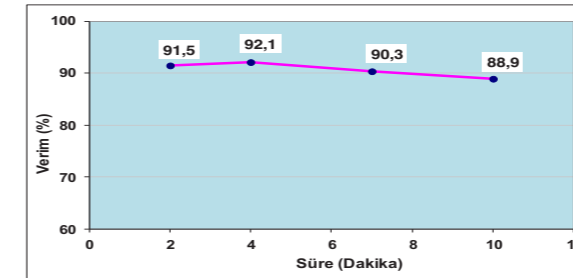
50 °C Sıcaklık, 10 dakika reaksiyon süresi, 15 ml NaOH miktarı ve 600 d/dk karıştırma hızı sabit tutularak 1-2-4-6 bar basınçlarda 4 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda katı sıvı ayrımı yapılmış ve süzgeç üstünde kalan çöktürülmüş katı kısım etüvde kurutulduktan sonra miktarı tespit edilerek eritiş metodu ile numuneler hazırlanarak XRF cihazında kimyasal analiz yönü ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular grafikte verilmiştir. Grafikten tespit edildiği üzere çözeltiye uygulanan  $\text{CO}_2$  basıncı arttıkça çöken  $\text{CaCO}_3$  verimi artmaktadır.



Elde edilen % 96,8 verime göre 6 bar basınç değerinden daha yükseğe çıkılmaya gerek görülmemiştir.

#### 2.3.4. Sürenin Etkisi

50°C sıcaklık, 15 ml NaOH miktarı, 2 bar  $\text{CO}_2$  basıncı ve 600-700 d/dk karıştırma hızı sabit olmak koşulu ile 2-4-7-10 dk. reaksiyon süresinde 4 adet deney yapılmıştır. Deney sonunda katı-sıvı ayrımı yapılmış ve çöken katı miktarı tespit edilerek XRF cihazında kireçtaşı ve oksit programlarında paralel olarak kimyasal analizleri belirlenerek çöken katıdaki  $\text{CaCO}_3$  miktarına ulaşılmış ve elde edilen sonuçlar grafikte gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde sürenin artışına paralel olarak çökeltme veriminin 4. dakikaya kadar arttığını ve bu değerden sonra azaldığı tespit edilmiştir.



### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, çelikhane curuflarının farklı endüstriyel tesislerde kullanımı ve hidrometalurjik yöntemler ile kalsiyum karbonat kazanılması ve özellikle İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. (İsdemir) çelikhane curuflarının asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ile liç işlemi sonrasında kalsiyumun selektif bir çözünme ile çözeltiye alınması ve elde edilen bu çözeltiye  $\text{CO}_2$  verilerek yüksek saflıkta katı kalsiyum karbonatın ( $\text{CaCO}_3$ ) kazanım koşulları araştırılmıştır. Bu çalışma iki kademede gerçekleştirilmiştir. Manyetik ayırıcı ile demirinden mümkün olduğunca arındırılmış çelikhane curufları asetik asit ile liç işlemine tabi tutularak kalsiyum iyonlarını çözeltiye alırken demir, silis ve magnezyum gibi diğer safsızlıklar mümkün olduğunca özütlenmemiştir. Diğer adım ve burada detayları anlatılan ise karbonatlaştırma denilen çözeltiye  $\text{CO}_2$  gazı verilerek kalsiyum karbonat çöktürülmesinin gerçekleştirildiği kademedir. Özütleme devresinde 50 °C sıcaklıkta, % 6,5 katı-sıvı oranında, 0,1 mm altı tane boyutundaki çelikhane curufu ile 0,7 M asit derişimine sahip çözeltide 2 saat deney süresi sonunda % 61,38 verimle kalsiyum iyonları selektif olarak çözeltiye alınan sıvıda kalsiyum iyonları kalsiyum asetat şeklindedir. Bu bileşiğin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formuna getirilmesi için NaOH çözeltisine ihtiyaç vardır. Karbonatlaştırma deneylerinde en uygun şartlar 15 ml NaOH miktarı, 50 °C sıcaklık, 2 bar basınç ve 4 dk'luk reaksiyon süresi olarak bulunmuştur. Çöktürme aşamasında kullanılan NaOH çözeltisi, deney sonunda sodyum asetat olarak geri kazanılmış ancak XRF ve ICP cihazlarında ölçülemediği için saflığı konusunda yorum yapılamamıştır.

Bu optimum şartlar yeterli sayıda deneylerle kontrol edilmiştir. Bu değerler sonucunda çöktürülen kalsiyum karbonat % 99,77 saflıkta ve % 92,1 verimle çöktürme aşamasında elde edilmiştir. Ayrıca % 0,227  $\text{MgO}$ , %0,016  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %0,001  $\text{SiO}_2$  iz elementler içermektedir. 100 gr curuf kullanıldığında ürün olarak % 56,5 verimle 49,02 gr katı  $\text{CaCO}_3$  oluşmaktadır. Her bir deney sonunda yapılan XRD analizlerine göre Ç.K.K. katısının tamamına yakını kalsit fazı içerdiği ve bu katının SEM görüntüleri incelendiğinde scalenohedral (üç köşeli altıgen) kristal yapısında olduğunu, tane boyutu analizlerine göre de boya ve kağıt sanayinin ihtiyacı olan dar aralıkta düşük tane boyutu dağılımı gösterdiği tespit edilmiştir. Çöktürülmüş kalsiyum karbonat Avrupa'da kullanılmaya başlamamış olsa bile Amerika'da büyük bir kullanım payına sahiptir. Bunun nedeni tane büyüklüğü ve kristal şekli kontrol edilebilen bir ürün olmasıdır. Maliyeti mikronize kalsite oranla daha fazla olmasına karşın kullanım standartlarının iyi olması çöktürülmüş kalsiyum karbonatın kullanım alanlarını arttırmıştır.

### Referanslar

- ALTAN, E., 2001, Çelikhane Curufu İçerisindeki Hurdaların Değerlendirilmesi, I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 1003-1011
- DÜNDAR, H., 2006, Farklı Sogutma Hızlarında Sogutulan Çelikhane Cürufularının Öğütme Parametrelerinin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara www.posco.co.kr POSCO / Sustainability
- GÜNAY, E. ve KARA M., 2005, Erdemir Çelikhane Curuflarının Ekonomik ve Ekolojik Değerlendirilmesi, 3. Demir Çelik Kongresi, Zonguldak
- İSDEMİR SİSTEM GELİŞTİRME MÜDÜRLÜĞÜ, 2004, Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufularının Dünyadaki Uygulamaları, İskenderun Demir Ve Çelik A.Ş. Teknik Hizmetler Genel Müdür Yardımcılığı (Yayınlanmamış Rapor)
- MUMCU, A., ARISOY F., ŞEŞEN K., 2001, Sinter Üretiminde Bazik Oksijen Fırını (BOF) Cürufunun Kullanılmasının Etkileri, I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi, Zonguldak
- SUK, M., JO, S., KIM S., LEE, K., PARK, J., 2006, X-Ray Observation of Phosphorus Vaporization from Steelmaking Slag and Suppression Method of phosphorus Reversion in Liquid Iron, Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 37B, No. 1, pp. 9
- STEEL TIMES INTERNATIONAL, 2000 (Waste Management of Steel Slug)
- TURAN, S. ve KAYA, G., Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina- Cilt: 45 Sayı 536

## Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi ile Slab Hareket Bilgilerinin Üretim Yönetim Sistemine Gönderilmesi

Sending Slab Motion Information to The Manufacturing Execution System with Level 2 Crane Monitoring System

◆  
**Rahmi ÜLKER, Ahmet BEŞKARDEŞ, Erkan DİNDAROĞLU, Kudret EMRE**  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

It is a very important issue that the slabs, which are one of the materials produced in iron and steel plants, are correctly classified and shipped in accordance with the place where they will be sent. The variety in slab quality and size, the necessity of stacking and transporting the material according to its physical properties, and the intense production tempo require this work to be done professionally. In order for the slab manipulation to be done in a most proper way, it is necessary to keep records of the operations performed quickly and safely, as well as the requirements such as correct planning, harmony between the operating units, skills of the crane operators. These processes are carried out with advanced automation systems called Level 2 and Level 3 in large and modern facilities such as integrated iron and steel factories. In this paper, Level 2 Crane Monitoring System, which records slab movements in Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) plants and transfers them to the manufacturing execution system (MES), is explained. With this system, which was developed using the most modern software technologies, slab movements are sent to MES smoothly, quickly and safely, and business operators are provided with great convenience with its user-friendly application interface.

### Özet

Demir çelik tesislerinde üretilen malzemelerden biri olan slabların doğru şekilde tasnif edilmesi ve gönderileceği yere uygun olarak sevkinin yapılması çok önemli bir konudur. Slab kalite ve ebatındaki çeşitlilik, malzemenin fiziksel özelliklerine göre istiflenmesi ve taşınması zorunluluğu ve yoğun üretim temposu, bu işin profesyonelce yapılmasını gerektirmektedir. Slab manipülasyonunun en iyi şekilde yapılabilmesi için doğru planlama, işletme birimleri arasında uyum, vinç operatörlerinin mahareti gibi gerekliliklerin yanında hızlı ve güvenli bir şekilde yapılan işlemlerin kayıtlarının tutulması gerekir. Bu işlemler, entegre demir çelik fabrikaları gibi büyük ve modern tesislerde Seviye 2 ve Seviye 3 adı verilen ileri düzey otomasyon sistemleri ile yapılır. Bu bildiriye İskenderun Demir ve Çelik AŞ (İSDEMİR) fabrikalarında slab hareketlerini kayıt altına

olarak üretim yönetim sistemine (ÜYS) aktarılmasını sağlayan Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi anlatılmaktadır. En modern yazılım teknolojileri kullanılarak geliştirilen bu sistemle slab hareketleri sorunsuz, hızlı ve güvenli bir şekilde ÜYS'ye gönderilmekte, kullanıcı dostu uygulama ara yüzü ile işletme operatörlerine büyük kolaylıklar sağlanmaktadır.

### 1. Giriş

Sürekli dökümler tesislerinde üretilen slabların sıcak haddehaneye sevk edilmesi sırasında Şekil 1'de gösterildiği gibi önemli bir manipülasyon süreci vardır. Slabların gönderileceği yere, kalitesine, malzeme yapısına, sıcak ya da soğuk şarj edilme durumuna göre istiflenmesi ve aktarılması gerekir. Bu işlemler için sorunsuz çalışan vinçlere, yetkin operatörlere ve iyi bir manipülasyon yazılım sistemine ihtiyaç vardır. İSDEMİR'de bu süreç işletme ekibinin yanında üç farklı otomasyon seviye sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerin ilki otomasyon piramidinin en altında yer alan ve diğer sistemler için temel oluşturan ve vinçlerin PLC ile kontrolünü sağlayan Seviye 1 sistemidir. İkincisi vinç operatörlerine bilgi sistemi üzerinden slab manipülasyonunu yönetme imkânı veren ve yapılan işlemleri bir üst sisteme gönderen Seviye 2 otomasyon sistemidir. Üçüncüsü de saha haritasını hazırlayan, slabların sevkine dair iş emirlerini hazırlayan ve bu işlemlerle ilgili raporları oluşturan Seviye 3 sistemidir. İSDEMİR'de yıllardır bu üç sistemin birbiri ile uyumlu çalışması sonucu slab manipülasyonu sorunsuz, hızlı ve güvenli olarak yapılmaktadır.

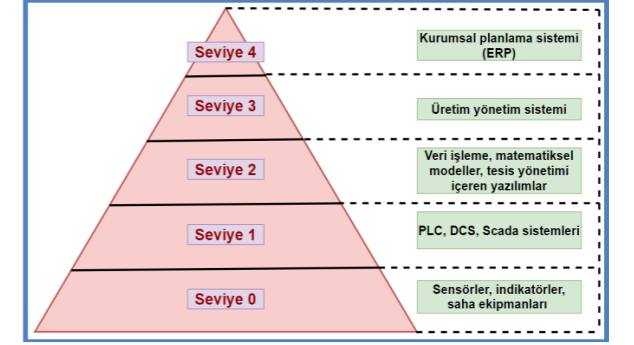
Bu bildiriye Seviye 2 Otomasyon sisteminde yapılan geliştirmelerle bu işleyişe yapılan katkılar anlatılmaktadır.



Şekil 1. Slab manipülasyonu.

### 2. Yapılan Çalışmalar

Entegre demir çelik fabrikaları gibi büyük işletmelerde sahadan gelen proses verilerinin bilgi sistemlerine aktarımını sağlama görevi farklı otomasyon ve yazılım sistemleri ile gerçekleştirilir. Bu sistemler aralarında küçük farklar olmakla birlikte [1] [2] [3]'te anlatılmıştır. Şekil 2'de gösterilen bu yapıda Seviye 0; transiter, sıcaklık göstergesi, valf, motor gibi sahada bulunan cihazları temsil eder. Genellikle bu cihazların uzaktan kumanda özelliği yoktur. Herhangi bir komut vermek veya gösterdiği değeri okumak için cihazın yanına gitmek gerekir. Seviye 1; DCS veya PLC sistemleri ile kontrolün sağlandığı, SCADA sistemleri ile proses bilgilerinin izlendiği otomasyon sistemidir. PLC ve DCS sistemleri mantıksal olarak programlanabilir ve bu sistemler ile Seviye 0'daki cihazlar kontrol edilebilir. Seviye 2'de Seviye 1 sistemi ile çözülemeyecek karmaşık problemler C#, C++, Python gibi yazılım dillerinde geliştirilmiş model yazılımları çözülür ve üretilen çıkış değerleri PLC sistemlerine gönderilir. Ayrıca PLC veri bloklarında tutulamayan büyük miktarlardaki veriler Seviye 2 sorumluluğundaki veri tabanlarında tutulur. Seviye 2'nin bir diğer görevi ise prosesden gelen bilgileri bir üst sistem olan Seviye 3'e aktarmaktır. Seviye 2 sistemleri tesis bazlı iken Seviye 3 daha geneldir. Gerekli tüm proses verileri Seviye 3'ün merkezi veri tabanında toplanır. Bu veriler özettir ve esas olarak yöneticilerin ihtiyaç duyduğu raporlardan oluşur. Seviye 3 aynı zamanda her tesiste üretim, kalite, markalama gibi bilgilerin üretildiği merkezdir. Seviye 4, üretim planlamasının yapıldığı sistemdir. Üretim ve kalite gibi kayıtlar burada tanımlanır ve sırasıyla Seviye 3 ve Seviye 2 üzerinden operasyona aktarılır [4]. Birden fazla yazılımcının aynı anda kod geliştirmesine izin vermesi, kaynak kodun güvenli bir şekilde korunması, yazılımda yapılan değişikliklerin tutulması, farklı



Şekil 2. Otomasyon piramidi.

### 2.1. Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi

Bu çalışmada İSDEMİR slab manipülasyonunun kayıt altına alınmasını ve bu kayıtların bir üst sistem olan üretim yönetim sistemine gönderilmesini sağlayan bir son kullanıcı uygulaması anlatılmaktadır. Bu uygulama .NET ortamında C# yazılım dilinde nesne yönelimli programlama mantığı ile geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın yazılım geliştirme yönüyle öne çıkan özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

#### Nesne yönelimli programlama

Nesne yönelimli programlama her biri kendi özelliklerine sahip olan yapıları nesnelere tanımlayan ve bu nesnelere birbiriyle etkileşimde olmasını sağlayan bir programlama yaklaşımıdır. 1960'lı yılların sonunda ortaya çıkan bu yaklaşım, özellikle karmaşık yazılım sistemlerinin geliştirilmesinde popülerliğini sürekli artırmaktadır [5]. Günümüzde Python, C#, C++, Java, Delphi gibi birçok yazılım dili nesne yönelimli yaklaşımı benimsemektedir. Anlaşılır, güvenli, sürdürülebilir, bölümlenebilir ve genişletilebilir yapıyla modern bir yazılım geliştirmeyi sağlar. Geliştirilen vinç izleme sistemi uygulamasında nesne yönelimli yaklaşımın tüm avantajlarından yararlanılmıştır.

#### Çoklu iş parçacığı

Bir iş parçacığı, diğer iş parçacıklarıyla aynı anda çalışabilen bağımsız bir yürütme yoludur [6]. Çoklu iş parçacığı ile geliştirilen yazılımlarda bu iş parçacıkları paralel olarak yani birbirini etkilemeden ve bekletmeden birlikte çalışabilir. Vinç izleme sisteminde üst sistemden yeni iş emirlerinin gelmesi, bu sırada yapılan manipülasyona ait bilgilerin güncellenmesi gibi eş zamanlı gerçekleşen durumlarda çoklu iş parçacığı kullanmanın önemi büyüktür.

#### TFS ortamında geliştirme

revizyonlardaki kaynak kodlara erişimin sağlanması gibi konularda yazılım geliştiricilere önemli kolaylıklar sağlayan TFS (Team Foundation Server) [7] ortamı kullanılmıştır.

### 3. Kazanımlar

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak sunucu ve bilgisayarlardaki işletim sistemleri de güncellenmekte, bu durum eski işletim sistemlerinde çalışan uygulamaların da zaman içinde güncellenmesini gerektirmektedir. Bu güncellemeler zamanında yapılmadığında, işletim sistemi ya da donanımlarla ilgili bir uyumsuzluk ortaya çıktığı an uygulama çalışmaz hale gelmektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile olası bir problemin önüne geçilmiş olmaktadır.

Geliştirilen yazılımın sağladığı faydalar şöyle özetlenebilir:

Birincisi, gelişen donanım ve teknolojiye uygun olarak işletme taleplerinin kısa sürede karşılanması ve ClickOnce teknolojisi [8] ile yeni versiyonun aynı anda tüm vinçlerde güncellenebilmesidir.

İkincisi, nesne yönelimli olarak geliştirilen, çoklu iş parçacığı kullanımı ile birbirinden ayrı proseslerin eş zamanlı olarak çalıştırılabildiği hızlı, güvenli ve sürdürülebilir bir uygulamanın devreye alınmasıdır.

Üçüncüsü, yazılım bakımını sağlayan mühendislere log dosyalarını inceleme, oluşun ya da oluşması muhtemel hataları tespit etme, gerekli değişikliği yaptıktan sonra yenisini hızlı bir şekilde devreye alma konularında kolaylık sağlamasıdır. Bu sayede herhangi bir hata giderme ya da geliştirme durumunda, işletme ekibi taleplerinin yapılmasını uzun süre beklemek zorunda kalmayacaktır. Ayrıca kodların TFS ortamında tutulması ile kod güvenliği de garanti altına alınmıştır.

Dördüncüsü, sürekli ve aktif olarak bilgisayar ekranına bakmak zorunda olan işletme operatörlerine daha ergonomik bir ortam hazırlanmasıdır. Karanlık bir ortam olmasından kaynaklı göz yorulmalarına karşı kişiselleştirilebilir ekran tasarımı ile kullanıcı dostu bir uygulama sunulmuştur.

### 4. Sonuç

Slab manipülayonu gibi yoğun emek ve dikkat gerektiren bir çalışmada, kullanılan ekipman ve bu ekipmanı kullanan

operatör kadar bilgi sistemlerinin de katkısı büyüktür. Yapılan işlemlerin hızlı ve doğru bir şekilde kayıt altına alınması hem stok sahası hem de slabların gideceği sonraki tesis açısından büyük önem arz eder. Bu çalışmada, sevk edilen slablarla ilgili işlemlerin hızlı, güvenli ve sorunsuz olarak kaydedilmesini sağlayan ve bu kayıtları üretim yönetim sistemine ulaştıran Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi anlatılmıştır. Geliştirilen bu yazılım İSDEMİR'de çok sayıda vinç üzerinde aktif olarak kullanılmaktadır. Konu ile ilgili devam eden çalışmamız bu yazılımın bobin ve merdane vinçlerine de uygulanması üzerine olacaktır.

### Referanslar

- [1] Y. Lu, X. Xu, and L. Wang, "Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios," *J. Manuf. Syst.*, vol. 56, pp. 312–325, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>.
- [2] T. Sauter, "The Three Generations of Field-Level Networks—Evolution and Compatibility Issues," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 11, pp. 3585–3595, 2010, doi: [10.1109/TIE.2010.2062473](https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2062473).
- [3] C. Cimino, E. Negri, and L. Fumagalli, "Review of digital twin applications in manufacturing," *Comput. Ind.*, vol. 113, p. 103130, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103130>.
- [4] Ü. Tanrıku, A. Beşkardeş, E. Kaya, and B. Ünsal, "Coke Oven Battery Temperature Map Creation With Level 2 Intelligent System," 2019, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/330307690\\_19th\\_International\\_Metallurgy\\_and\\_Materials\\_Congress](https://www.researchgate.net/publication/330307690_19th_International_Metallurgy_and_Materials_Congress).
- [5] C. Danforth, Scott and Tomlinson, "Type theories and object-oriented programming," *ACM Comput. Surv.*, vol. 20, no. 1, pp. 29–72, 1988.
- [6] <<http://www.albahari.com/threading/>> 17.02.2022
- [7] <<http://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ff637362.aspx>> 17.02.2022
- [8] <<https://docs.microsoft.com/tr-tr/visualstudio/deployment/clickonce-security-and-deployment?view=vs-2022>> 17.02.2022

Şekil 3. Seviye 2 Vinç İzleme Sistemi uygulaması.

## Kok Gazı ve Yüksek Fırın Gazı Kullanım Miktarlarına Göre Batarya Kontrol Sıcaklıklarının Modellenmesi

Modeling of Battery Control Temperatures According to the Use Amount of Coke Gas and Blast Furnace Gas



Hüseyin ZÜMRÜT, Ömer ECE, Yavuz Selim GÜNAY

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye

### Abstract

The main task of the Coke Factories is the production of metallurgical coke, which Blast Furnaces need to produce liquid raw iron, while producing coke gas, tar, benzol, ammonium sulfate, walnut coke and powder coke as by-products. By heating the mixture of blast furnace gas and coke gas burned in the combustion chambers and the refractory bricks on the furnace walls, the coking coal blend is indirectly heated. Controlling the heating regime and keeping it stable is important in terms of production continuity as well as the quality of the coke produced. Control temperature measurements are of great importance in setting the heating regime of coke batteries. Control temperature measurements are taken every shift with devices called pyrometers. Gas adjustment is made according to the condition of these measurements. The heating regime has a direct effect on the coking process. The study was carried out on the data set prepared for modeling the battery temperatures. By correlating the battery control temperatures with gas consumption flow rates, an estimate of which temperature will be obtained at which gas mixture consumption flow rate is provided.

### Özet

Kok Fabrikalarının görevi; esas ürün olarak Yüksek Fırınların sıvı ham demir üretebilmesi için ihtiyacı olan metalürjik kokun üretilmesi ve bu esnada yan ürün olarak kok gazı, katran, benzol, amonyum sülfat, ceviz kok ve toz kokun üretilmesidir. Batarya yanma kamaralarında yakılan yüksek fırın gazı ve kok gazı karışımını, fırın duvarlarındaki refrakter tuğlaları ısıtarak, indirekt olarak koklaşabilir taşkömürü harmanının ısıtılması sağlanır. Isıtma rejiminin kontrolü ve stabil tutulması, üretilen kokun kalitesinin yanı sıra üretim devamlılığı açısından da önemlidir. Kontrol sıcaklık ölçüleri kok bataryalarının ısıtma rejiminin ayarlanmasında çok büyük önem arz etmektedir. Kontrol sıcaklık ölçüleri pirometre adı verilen cihazlar ile her vardiya alınmaktadır. Bu ölçülerin durumuna göre gaz ayarı yapılmaktadır. Isıtma rejiminin koklaşma prosesine direkt bir etkisi vardır. Batarya sıcaklıklarının modellenmesi için hazırlanan veri seti üzerinden çalışma yapılmıştır. Batarya

kontrol sıcaklıkları ile gaz tüketim debileri ilişkilendirilmesi sağlanarak, hangi gaz karışımı tüketim debisinde hangi sıcaklığın elde edileceğinin tahmini sağlanmıştır. [1], [2]

### 1. Giriş

Koklaşabilir taş kömürü harmanı havasız ortamda, koklaşma süresi boyunca ısıtılarak kok üretimi gerçekleştirilir. Koklaşma süresi ve kok kalitesi açısından ısıtma rejiminin verimi ve stabilizasyonu büyük ölçüde önem arz etmektedir.



Şekil 1. Koklaşması tamamlanmış fırın.

Isıtma operasyonu, yüksek fırın gazı içerisine belirli bir oranda kok gazı dozajlanarak yapılmaktadır. Yüksek fırın

gazı ile birlikte kok gazı karışımı yakılarak refrakter tuğlalar ısıtılır ve indirekt ısıtma yöntemi ile koklaşabilir taş kömürü harmanının ısıtılması sağlanır. [1]

Kontrol sıcaklık ölçüleri pirometre adı verilen cihazlar ile ölçülmektedir. Bu ölçülere göre kok bataryaların ısıtma rejimi görülür ve gerekli gaz ayarları yapılır.

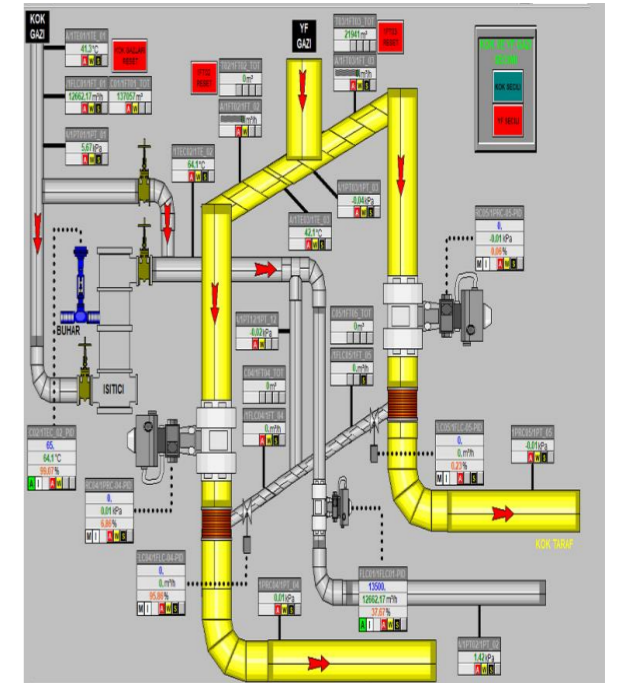


Şekil 2. Pirometre ve Ölçüm.

Şekil 1' de Kontrol sıcaklık ölçülerinin bek deliklerinden alınışı ve pirometre görülmektedir.

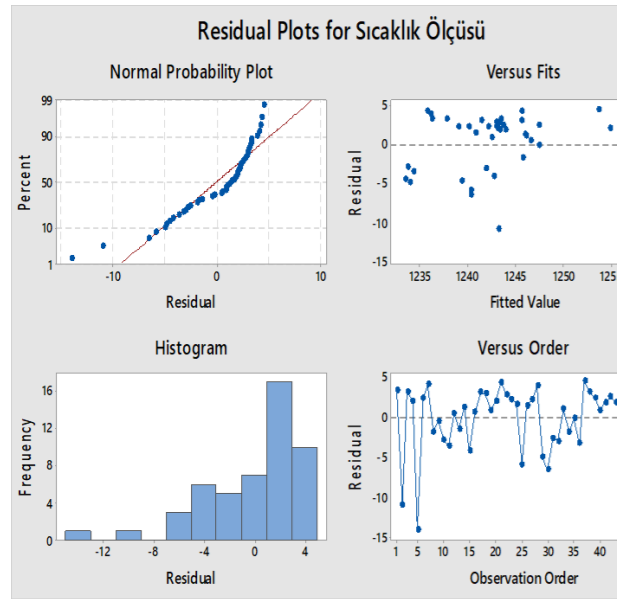
### 2. Deneysel Çalışmalar

Kok gazı ve yüksek fırın gazı karışımları SCADA ekranından sürekli olarak takip edilerek veri tabanına kaydedilmektedir. Tüketilen gaz miktarlarına göre kok gazı ve yüksek fırın gazı debilerinin sıcaklık üzerine etkisi incelenerek, istenilen sıcaklık ölçüsüne ulaşmak için gereken gaz miktarlarının saptanması hedeflenmiştir. Böylece ısıtma rejiminin kontrolü ve stabil tutulması sağlanacaktır. [2]



Şekil 3. SCADA ekran görüntüsü.

Bu çalışmada veri tabanından alınan veriler üzerinde istatistiksel veri analizi yapılarak, yüksek fırın gazı ve kok gazı tüketimlerinin, kontrol sıcaklık ölçüleri ilişkilendirilerek, sıcaklık tahminlerinin yapılması hedeflenmiştir. Veri tabanından alınan kontrol sıcaklık ölçüleri ve gaz tüketim değerleri üzerinde veri analizi yapılmıştır.



Şekil 4. Veri analizi grafikleri.

### 2.1. Regression Analiz Çalışmaları

Kontrol sıcaklık ölçüleri ve gaz tüketimleri verileri analiz edilerek regression analizi yapılmıştır. Yapılan analizin sonucuna göre R-sq %76,40 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, kontrol sıcaklık ölçüleri ve kok gazı- yüksek fırın gazı arasındaki ilişkinin matematiksel modeli oluşturulmuştur.

#### Çizelge 1. Regression analizi.

Regression Analysis: Sıcaklık Ölçüsü versus Kok Gazı ... ırın Gazı De

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	2593,12	1296,56	80,30	0,000
Kok Gazı Debisi	1	2050,02	2050,02	126,96	0,000
Yüksek Fırın Gazı Debisi	1	7,52	7,52	0,47	0,498
Error	47	758,90	16,15		
Lack-of-Fit	45	758,13	16,85	43,45	0,023
Pure Error	2	0,78	0,39		
Total	49	3352,02			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4,01832	77,36%	76,40%	71,02%

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1080,7	14,3	75,73	0,000	
Kok Gazı Debisi	0,1817	0,0161	11,27	0,000	1,20
Yüksek Fırın Gazı Debisi	0,000313	0,000459	0,68	0,498	1,20

#### Regression Equation

Sıcaklık Ölçüsü = 1080,7 + 0,1817 Kok Gazı Debisi + 0,000313 Yüksek Fırın Gazı Debisi

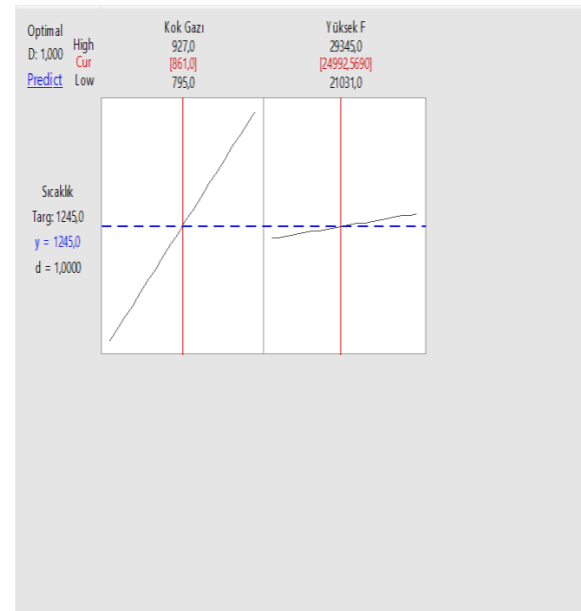
#### Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Sıcaklık Ölçüsü	Fit	Resid	Std Resid	R
2	1232,26	1243,17	-10,91	-2,74	R
5	1242,77	1256,77	-14,00	-3,63	R
37	1258,31	1253,75	4,55	1,84	X

R Large residual  
X Unusual X

### Kontrol sıcaklıklarının tahminlenmesi

Yapılan veri analizleri sonucunda kontrol sıcaklıklarının kok gazı ve yüksek fırın gazı tüketimlerine göre tahmin edilebilmesi adına çıkarılan matematiksel modele göre, minitab programında respoze optimization çalıştırılarak, istenilen sıcaklığa ulaşabilmek için gereken yüksek fırın ve kok gazı debileri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Respoze optimization grafikleri.

Çizelge 2. Respoze optimization tablosu.

### Response Optimization: Sıcaklık Ölçüsü

#### Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Sıcaklık Ölçüsü	Target	1228,95	1245	1262,43	1	1

#### Solution

Solution	Sıcaklık			Composite Desirability
	Kok Gazı Debisi	Yüksek Fırın Gazı Debisi	Ölçüsü Fit	
1	861	24992,6	1245	1

#### Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Kok Gazı Debisi	861
Yüksek Fırın Gazı Debisi	24992,6

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Sıcaklık Ölçüsü	1245,00	0,99	(1243,00; 1247,00)	(1236,67; 1253,33)

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Kok bataryaları kontrol sıcaklıklarının modellenmesi için hazırlanan veri seti üzerinden istatistiksel analizler yapılarak model çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda R-sq değeri %76,40 olarak matematiksel model elde edilmiştir. Elde edilen modele göre minitab programında respoze optimizer çalıştırılarak 1245 ° C sıcaklığa ulaşabilmek için kok gazı debisi 861 m<sup>3</sup>/h, yüksek fırın gazı debisi 24.992,6 m<sup>3</sup>/h olarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçlar kok bataryalarının ısıtma prosesinde denenerek, yapılan çalışmanın kontrol sıcaklıklarının tahminlenmesi üzerinde olumlu sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.

### 4. Sonuç

Yapılan çalışmalar sonucunda kok bataryalarında sıcaklık rejiminin stabilizasyonu sağlanmasının yanı sıra kok gazı ve yüksek fırın gazı tüketimlerinin de optimize edilerek istenilen sıcaklıklarda minimum yakıt sarfiyatı sağlanmıştır. Stabil sıcaklık rejiminin oluşması kok bataryalarındaki refrakter tuğlalarındaki sıcaklık değişimlerinden kaynaklı deformasyona uğrama olasısını da azaltmıştır.

### Referanslar

- [1] Battery heating optimization with coke oven gas firing M. Landreau, Y. Hergalant, J.P. Gaillet, Centre de Pyrolyse de Marienau, France  
G. Ghazal, P. D. Nguyen, ArcelorMittal Maizières Research, France  
[2] W. G. Davenport, M. King, M. Schlesinger ve A. K. Biswas, Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon, 2002, Oxford, Birleşik Krallık. CFD model of conjugate thermal processes within coke oven battery as an example of complex industrial application, A. J. Nowak, J. Smolka, A. Fic, L. Kosyrczyk, CMM-2011, Warsaw, May 2011

## Holistic View on Ladle Opening Rate

◆ Marc André BOMBECK<sup>1</sup>, Enno HILGENHONER<sup>1</sup>, Kerstin HAUKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>WEEBOTEC, <sup>2</sup>Forschungsgemeinschaft Feuerfest - Germany



An increase in the opening rate cannot be accomplished by simply adjusting the well filler only. A holistic view on the influencing factors is advised. Metallurgical, process engineering and application engineering aspects must be taken into account in order to sustainably increase the ladle opening rates.

Weebotec has developed the 3P concept (product, process, personnel) to take a more comprehensive approach to increase ladle opening rates together with customer. The scientific relevance of the 3P concept is proven on the basis of operational laboratory tests and their results.

### 1. Functional principle of well filler ("product")

To protect the slide-gate/well-block system of a steel ladle from liquid steel and to ensure that the ladle opens automatically, the casting channel/well-block is filled with well filler before the liquid steel is tapped into the empty steel ladle. Statistically, this is an amount of between 0.3-0.5 kg of well filler per t of crude steel.

The temperature-induced sintering and hardening reactions of the well filler are intended to prevent the penetration of the liquid steel into the casting channel and subsequent solidification of the steel. This occurs through the formation of a hardened sinter layer in the contact area of the well filler with the hot molten steel, preventing the melt from infiltrating the well filler bed.

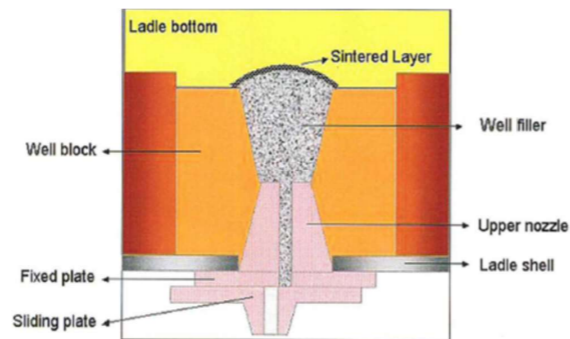


Figure 1: Well block with ladle well filler before casting [1]

When opening the slide gate, the well filler runs out of the casting channel. The sintered layer then breaks due to the ferrostatic pressure of the liquid steel, so that the molten steel can drain through the channel into the tundish. In steel plants, this is usually called a self-opening respectively automatic ladle opening.

Figure 1 shows a schematic overview of the area in question. If the sintering activity and the resulting hardening of the well filler in the contact area with the molten steel is too high and the sinter layer is too strong as a result, the ferrostatic pressure of the liquid steel may be too low to break through the sintered layer. [1][2].

### Factors influencing well filler function

The processes described above are not static, but rather dynamic throughout the entire steelmaking process. As already published in 2019, high steel temperatures, long residence times, high-alloy steel compositions and intensive homogenization processes lead to progressive dissolution of the well filler during the steelmaking process. [3].

### Factor steel

An important influencing factor in the dissolution of well filler is the steel quality in contact with the well filler. In order to achieve a successful opening rate, the applied well filler should be carefully selected. Figure 2 below shows how big the differences can be in the combination of steel and well filler.

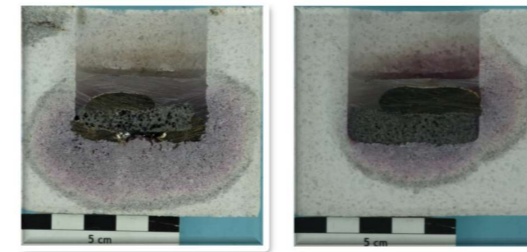


Figure 2: Comparison of two different well filler in contact with tube steel after 2 C -Crucible test [3]

In a 2 C-crucible test (C = components), two different well fillers with a steel grade for tube application were heated up to 1600° Celsius under a protective gas atmosphere (Argon) and held for 2 hours. After subsequent cooling, the crucibles were resin-infiltrated and then cut in the center. The higher infiltration rate of the left crucible compared to the right one can be seen already from the relict of remaining well filler and the infiltration front in the crucible material.

Thus, the reaction potential of a steel grade against a well filler can be evaluated visually and compared in the 2-component crucible test. The selection of the most suitable well filler is usually based on a "worst case scenario", i.e., the steel grade with the lowest opening rate serves as the

starting point for the development and selection of the right well filler.

### Factor slag

The influence of secondary metallurgical slags in form of residual slag (from ladle wall or bottom) on steel cleanliness has been sufficiently researched in the past. [4, 5]. In contradiction to that, the effects of slag infiltrated well blocks and ladle bottoms on the contact reactions between well filler, steel, and slag have not been studied to date.

In case of low-melting ladle slag, it can be assumed that intensive reactions with the well filler take place at high temperatures during steel production. This will lead to negative impact on the ladle opening rate.

The presence of ladle slag is even more important when the well filler had already been charged to the well block for some time before tapping. In this case it can be assumed that the formation of the sintered layer begins already prior to steel tapping. Due to the sintering reactions with the ladle slag, the thickness of the sintered layer increases the longer the well filler remains in the empty ladle.

The thickness of the sintered layer is very important for proper function of the well filler. If too thick, it may not break when the slide gate is opened under the ferrostatic pressure, and the ladle will not open automatically. A manual opening by lancing the casting channel is associated with considerable risk and effort. There is always the hazard of uncontrolled steel escaping the ladle during lancing, representing a safety hazard for operators and equipment. Also downgrading of quality and interrupting the process schedule need to be considered and cause extra costs.

The above shows that not only the contact reactions of a well filler with liquid steel and well block material have an influence on the opening rate, but also the contact reactions of well filler with ladle slag can negatively influence the opening rate. In the following, first findings on the effects of ladle slag on the sintering activity of well filler are presented.

## 2. Experimental Procedure

A commercial well filler consisting of chrome ore and quartz was used as base material. The ladle slag used for the investigations came from operational use at a steel plant. It essentially consists of calcium aluminates and Ca-, Mg-silicates. The softening temperature of the ladle slag determined using heating microscopy is 1292 °C, the hemispherical temperature is 1311 °C and the flow temperature is 1448 °C (all tests according to DIN 51730 with a heating microscope from Linseis Application Laboratory).

Well filler, slag and steel chemical analysis are given in Table 1.



	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
Well filler	10,9	23,7	20,8	33,7	0,1	7,3
Slag	33,0	5,0	0,6	0,06	45,8	13,7
	C	Mn	P	S	Cr	
Crude steel	0,017	0,11	0,017	0,009	0,041	

Table 1: Chemical composition of the components in mass-%.

For a better understanding of the following investigations, different process phases were defined for the well filler during its operational use, in which, in addition to the status of the well filler, the reaction partners and the environmental conditions such as temperature and atmosphere are specified (Table 2)

T in °C	Phase	Status	reaction partner	Atmosphere
1100	I	well filler addition	Well filler	oxidizing
1100	Ia	well filler addition	Well filler/Slag	oxidizing
1400	II	ladle with well filler during preheating	Well filler/Slag	oxidizing
1600	III	Ladle while tapping/before deoxidation	Well filler/Steel	oxidizing
1600	IIIa	Ladle while tapping/before deoxidation	Well filler/Steel/Slag	oxidizing
1600	IV	Ladle after deoxidation	Well filler/Steel	reducing
1600	IVa	Ladle after deoxidation	Well filler/Steel/Slag	reducing

Table 2: Process phase of a well filler during operation

### Sintering behavior of well filler after addition to the well block of a steel ladle without the influence of ladle slag (Process Phase I)

The influence of the timing of adding a well filler to the steel ladle was studied by determining its sintering behavior as a function of the holding time at a given temperature. For this purpose, crucibles filled with well filler were heated to 1100 °C in air atmosphere in a laboratory furnace. After different holding times of 0.5 h, 1 h, 2 h and 6 h, the crucibles were removed from the furnace and analyzed after cooling. Sieve analysis and microscopic analysis were performed.

For the sieve analysis, the samples tempered at 1100 °C and different holding times were sieved and the proportion of the fraction larger than 0.355 mm was determined (10 min. sieve tower, interval time 10 s, amplitude 1.5 mm/g).

Since the proportion of the grain fraction > 0.355 mm increases with increasing sintering of the well filler, it can be used as a measure of the progress of the sintering process of the well filler. The percentage increase relative to the initial value is of particular interest.

The results of the grain size analyses carried out show that the proportion of the grain fraction > 0.355 mm increases with longer holding times (Figure 3).

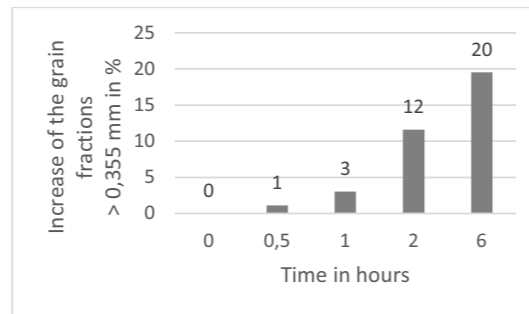


Figure 3: Additional increase of the fraction &gt;0,355 mm of well filler dependent on holding time at 1100 °C in air atmosphere

This behavior can be explained by the fact that in the structure of the well filler, more and more sinter bridges develop between the components with increasing holding/idle time, leading to the formation of larger agglomerates. Figure 4 shows the formation of a sinter bridge.

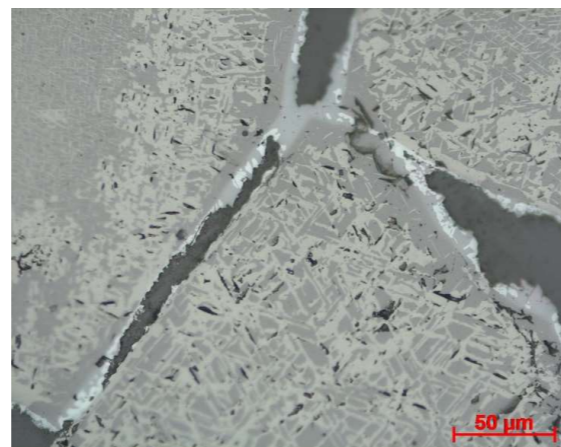


Figure 4: SEM (500x) of grain conglomerate of the fraction &gt;0,355 mm of well filler after 1100°C/2h in air atmosphere

The time dependent particle agglomeration of the well filler reveals that the time from well filler addition to steel tapping into the ladle has a very significant influence on degree of sintering as well as thickness of the sintered layer of the well filler. Hence, this period may decisively influence the opening rate, as already published in 2016. [2]

### Reaction behavior of well filler after addition to ladle well block of a steel ladle with the influence of ladle slag and crude steel (Process Phases I to IVa)

The reaction behavior of well filler in contact with ladle slag and crude steel was examined in crucible tests. For this purpose, 20 mm fill of well filler were placed in corundum

crucibles (99.5% by weight corundum), which corresponded to approx. 60-65 g of well filler (Figure 5).

Depending on the type of crucible test, these fillings were covered with or without 12 g of slag and/or 160 g of crude steel. The crucibles were heated up in a laboratory furnace at 300 K/h in oxidizing and reducing gas atmospheres (air = oxidizing, protective gas = reducing) to temperatures between 1100 °C and 1600 °C.

After cooling to room temperature, the crucibles were cut in the middle into two halves and analyzed visually and microscopically. With this setup for the crucible tests, the operational process conditions of a well filler during its application in a steel ladle could be mapped on a laboratory scale.

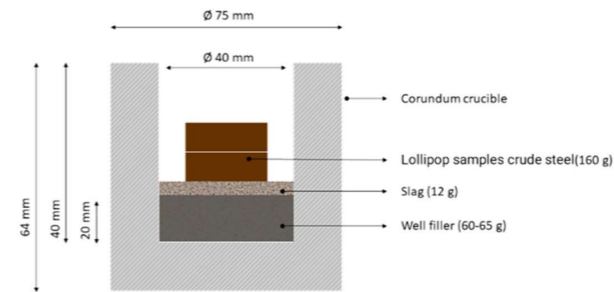


Figure 5: Experimental setup crucible test

The experimental conditions of the crucible tests were selected in such a way that they reflect the conditions in a steel plant according to the process flow from empty steel ladle to the steel ladle filled with crude steel during the secondary metallurgical treatment.

In operational practice, the well filler is poured into the well block of an empty steel ladle, at ladle bottom temperatures between approx. 500 °C to 1250 °C and oxidizing conditions (see 1 C crucible test in Figure 6).

It should be noted that the temperatures in the casting channel of the well block are significantly lower, [2]. If the steel ladle returns directly from a production cycle, the well filler may be contaminated with residual slag from wall and floor area of the steel ladle.

In particular liquid slag residues from the joints of the lining collect at the lowest point of the ladle bottom (2 C-crucible test in Figure 7).

### Reactions of well filler in the well block before tapping (Process Phase I)

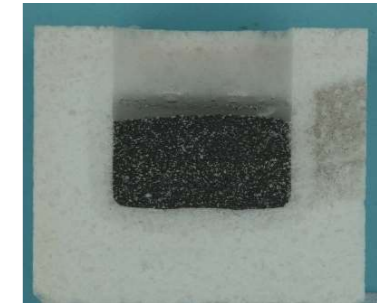


Figure 6: 1 C-Crucible Test with well filler after 1100°C/2h in oxidizing atmosphere

Figure 6 shows the result of the crucible test with well filler after 1100 °C/2h without contact with ladle slag and crude steel. At 1100 °C in oxidizing gas atmosphere, there are no visible contact reactions between the well filler and the crucible. There is also no infiltration of the crucible. The well filler appears to be slightly consolidated, as the sintering tests with subsequent sieve analysis have also shown.

### Reactions of well filler in contact with ladle slag in the well block prior to tapping (Process Phase Ia)



Figure 7: 2 C-Crucible Test with well filler and ladle slag after 1100°C/2h in oxidizing atmosphere

The addition of ladle slag to the well filler charge also shows no visible contact reactions at 1100 °C/2 h. The two phases (slag and well filler) show a discrete phase boundary, which clearly separates the two phases from each other

### Reactions of well filler in contact with ladle slag in the well block prior to tapping under ladle preheating fire (Process Phase II)

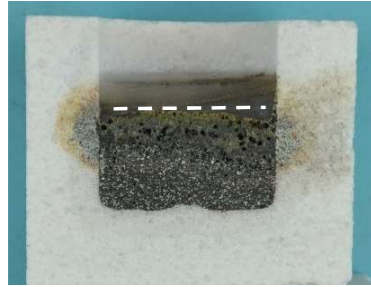


Figure 8: 2 C-Crucible Test with well filler and ladle slag after 1400°C/2h in oxidizing atmosphere

If the test temperature is increased to 1400 °C, the reaction potential of the ladle slag becomes clear (Figure 8). The ladle slag melts completely with a decrease in volume and the phase boundary between well filler and slag is no longer recognizable. In addition, the bulk volumes of well filler and slag in the test crucible decrease. The original fill level of the well filler is indicated in Figure 8 with a white dotted line. Apparently, a contact reaction between well filler and ladle slag as well as infiltration of the crucible took place.

The clearly visible contact reactions between well filler and ladle slag lead to further micro-analytical investigations, using a scanning electron microscope. For the detailed microscopic evaluation, four zones were identified on the crucible of the 2 C-crucible test at 1400 °C (Figure 9).

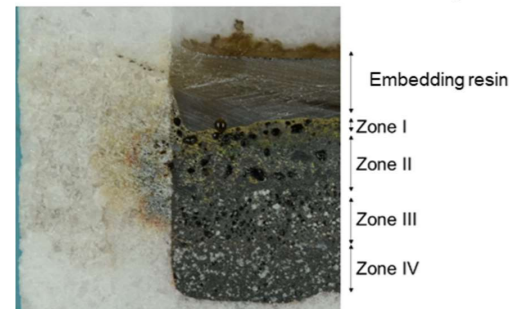


Figure 9: Different zones within the crucible with well filler and ladle slag after 1400 °C/2h in oxidizing atmosphere

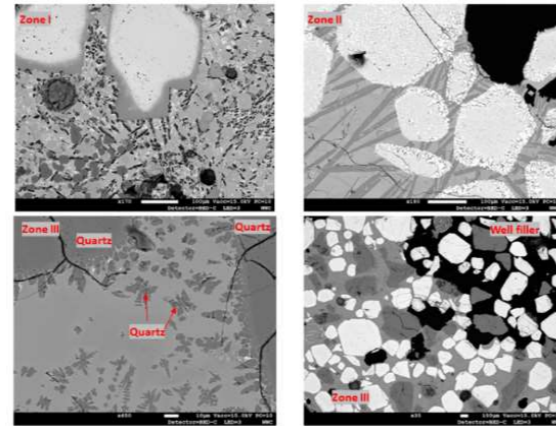


Figure 10: SEM well filler and ladle slag after 1400 °C/2h (oxidizing atmosphere)

At the test temperature of 1400 °C, which is around 50 K below the flow temperature of the ladle slag, a melt formed in the contact zone of ladle slag and well filler (Figure 10, Zone I).

During cooling after the crucible test, chromium-containing calcium aluminate phases formed from the melt, which indicate a reaction between the chromium ore of the well filler and the slag. The chrome ore grains in the well filler, mainly magnesiochromite, have a dark edge that is clearly depleted in chrome and iron.

These elements have passed into the melt and, together with calcium and aluminum, have formed calcium aluminate phases containing chromium and calcium aluminosilicate phases rich in iron.

In Zone II, the iron-rich calcium aluminosilicate melt has infiltrated the well filler and has completely melted the quartz grains from the well filler. Acicular calcium feldspars (anorthite) and calcium aluminosilicates (possibly garnet) containing Fe and Mg crystallized out of the melt.

With increasing distance from the contact zone between well filler and slag, the CaO content in the melt phase decreases and the SiO<sub>2</sub> content increases (Zone III). The reaction front works its way from the contact zone into the primary well filler. The quartz grains melt due to the reaction with the melt that is formed. Hence, the melt becomes increasingly rich in SiO<sub>2</sub>. Zone IV at the bottom of the crucible was unaffected by the reaction front and consists of loose chromium ore and quartz grains.

The formation of a melt from ladle slag in reaction with well filler apparently leads to a strongly consolidated well filler layer. If thick enough, it can prevent the sinter layer from breaking through when the slide gate opens due to the ferrostatic pressure.

### Reactions of well filler in contact with crude steel in the well block during tapping and prior to deoxidation (Process Phase III)

During tapping of the crude steel into the ladle, the temperatures in the ladle rise rapidly without the crude steel being completely available as a reaction partner for the well filler. After the molten steel comes into contact with the well filler with a further increase in temperature, the well filler and crude steel then react together in an oxidizing gas atmosphere.

The result of the crucible test with well filler and crude steel at 1600 °C in an oxidizing gas atmosphere shows that there are violent contact reactions between the reactants at the phase boundaries (Figure 11).

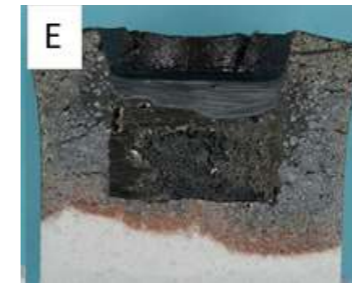


Figure 11: 2 C-Crucible Test with well filler and crude steel after 1600°C/2h in oxidizing atmosphere

### Reactions of well filler in contact with ladle slag and crude steel in the well block during tapping and prior to deoxidation (Process Phase IIIa)



Figure 12: 3 C-Crucible Test with well filler, ladle slag, crude steel after 1600°C/2h in oxidizing atmosphere

Figure 12 shows the result of a 3 C-crucible test at 1600 °C in an oxidizing gas atmosphere with well filler, ladle slag and crude steel. The contact reactions between the three components have resulted in complete infiltration and destruction of the crucible structure. Comparison with Figure 11 shows that the test crucible is less infiltrated in the absence of ladle slag.

It is assumed that the presence of ladle slag in the well block increases the contact- and infiltration-reactions with well

filler and liquid steel, leading to negative impact on the opening rate. When evaluating these laboratory results, it must be considered that the crucible material used is not real well block material. This was selected on purpose to reflect the occurring contact- and infiltration-reactions as clearly as possible.

### Reactions of well filler in contact with crude steel in the well block after deoxidation (Process Phase IV)



Figure 13: 2 C-Crucible Test with well filler and crude steel after 1600°C/2h in reducing atmosphere

To further highlight the influence of ladle slag on the resulting contact reactions with well filler and crude steel, two more crucible tests were carried out at 1600 °C under low-oxygen gas atmosphere. These test conditions represent the process phase after the deoxidation of the steel in the ladle. Figure 13 shows the test result of the crucible test without ladle slag (2 C-crucible test). The crucible infiltration and structure condition reveal the intensity of the contact reactions. Without ladle slag, the crucible is not completely infiltrated, and the crucible structure is corroded only at the bottom.

### Reactions of well filler in contact with ladle slag and crude steel in well block after deoxidation (Process Phase IVa)

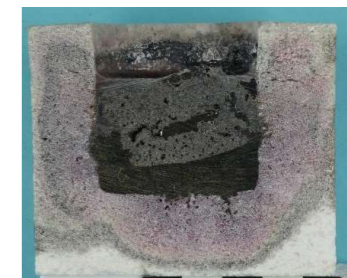


Figure 14: 3 C-Crucible Test with well filler, ladle slag, crude steel after 1600°C/2h in reducing atmosphere

The 3 C-crucible test shown in Figure 13 shows again that very intensive reactions occur between the reaction partners in presence of ladle slag. The test crucible in Figure 14 is

significantly more infiltrated versus Figure 13. The crude steel ran under the well filler and lifted it. Overall, the test crucible in Figure 14 (3 C-crucible test with ladle slag) appears more damaged than the test crucible in Figure 13 (2 C-crucible test without ladle slag).

### 3. Influencing factor "process" on the ladle opening rate

The process-related influencing factors on the ladle opening rate are just as diverse as the reactions between well filler, steel, and slag.

The longer the metallurgical route and the more complex the metallurgy, the more significant are the effects of the process-related influencing factors on a successful opening of the ladle. The main process-related influencing factors are:

- Tapping temperature
- Type of process route
- Ladle cycle time
- Vacuum treatment yes/no
- Manganese levels
- Duration of idle times before casting
- Wear condition of the well block system
- Heat balance of the ladle

The consequences of these process-related influencing factors can be categorized on the one hand in parameters that force the dissolution of the well filler, such as the tapping temperature, cycle time, Manganese content of the steel and rinsing intensity. On the other hand, there are parameters that lead to graded stratification above the well filler, such as the thermal balance of the ladle, excessive idle/hanging times before the start of casting and the progressive wear of the casting channel in the well block. Since all these process-related influencing factors are specifically different plant by plant, they must be individually identified for optimization to develop and select targeted and successful solutions to improve the opening rate.

Another very important factor influencing the ladle opening rate is the application technique of the well filler.

### 4. Influencing factor application technology of the well filler on the ladle opening rate ("process")

Around 70% of the world's well filler production is delivered to customers in bags, where it is added either manually by throwing the bags or by adding them to a pipe funnel.

The degree of automation in the area of well filler addition is extremely low and reliability often depends on the clean working methods of the operators. Digital data acquisition at the time of addition of the well filler, the amount added, the place of addition and the wear condition of the well block is very rarely found in steel mills. This is particularly astonishing, since an unsuccessful opening of the ladle has a major impact on operational safety, final product quality and

the process timing. All above leading to considerable additional costs.

Also, from operator's point of view, technical progress in the well filler application technology is desirable to eliminate heavy physical work and reduce potential for mistakes significantly.

Compared to continuous casting, where the addition of process relevant mold flux has been increasingly automatized in the recent years, very little technical innovation has found its way into well filler addition and the digital monitoring.

Weebotec GmbH therefore offers modular solutions that can be adapted to the spatial conditions and individual requirements at customers. The challenges often start with a reproducible addition quantity, with a controlled addition time and go all the way to a fully automated addition station with integrated volume measurement of the well block and exact positioning of the addition unit over the casting channel.



Figure 15: Sate-of-the-art well filler addition station

Recent experience shows that modern modular well filler addition stations may contribute to an increased ladle opening rate.

### 5. Influencing factor "personnel" on the ladle opening rate

The influence of ladle slag on the sintering behavior has been described in depth in the preceding text. But how do you avoid intensive contact between ladle slag and well filler?

The ladle transport-, tilting- and cleaning-processes in steel plants are almost all strongly depending on the technical skills of the workforce and inhouse logistics. It is advisable to have clear standard operation procedures such as e.g., tilting instructions for the complete emptying of an empty steel ladle after casting or the careful cleaning of the pouring channel from both, the hot and the cold side.

By using intelligent camera technology in modern addition stations, helpful control loops can be implemented in the level II systems and support employees. This provides additional operational safety and gives the employees the necessary feedback on their work results.

### 6. Conclusions

Successful automatic self-opening depends on three factors:

- Product
- Personnel
- Process

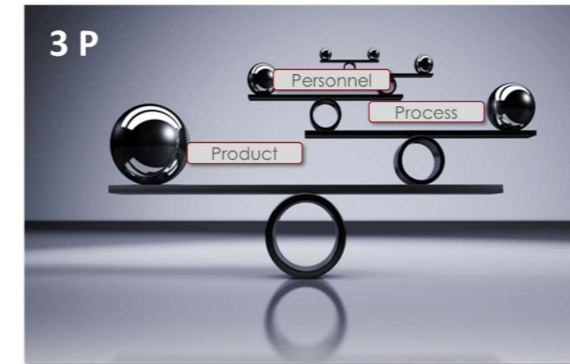


Figure 16: 3 P Model

Since these 3 factors interact in numerous ways, they must be considered jointly and comprehensively.

In the context of this article, proof is provided that the sintering of the well filler (**product**) is strongly dependent on the time of addition before the start of tapping.

Furthermore, the presence of ladle slag has a significant influence on the sintering behavior of the well filler. Laboratory tests have shown that the sintered layer thickness increases in combination with ladle slag, leading to a negative impact on the ladle opening rate. The contact of well filler with ladle slag must therefore be avoided.

This can be achieved by a pronounced low-slag ladle hygiene, applying clear standard operation practices, intelligent empty ladle logistics and targeted slag management after the end of casting. We summarize these factors under the influencing factor **personnel**.

Another very important aspect lies in the **process** of adding the well filler. Ladle opening rates close to 100% can only be achieved with modern addition technology providing reproducible results and condition monitoring.

A singular consideration of isolated factors of the 3 P model usually only brings short-term success. A sustainable increase in the ladle opening rate can only be achieved using a holistic approach.

### 7. References

- [1] d. O. L. B. e. a. Seixas, „Moisture influence on performance of nozzle filler for continuous casting of steel,“ in Steel-making Seminar, 2008.
- [2] J. D. e. a. Bombeck, „Grundlegende Untersuchung zur Funktionsweise von Schiebersanden,“ Stahl & Eisen , Bd. 136, Nr. 8, pp. 35-42, 08 Mai 2016.
- [3] J. D. e. a. Bombeck, „Verhalten von Schiebersand bei Kontakt mit flüssigem Stahl,“ Stahl & Eisen , Bd. 139, Nr. 4, pp. 46-51, 2019.
- [4] Z. D. M. Z. Yunguang Chi, „Effect of Ladle Usage on Cleanliness of Bearing Steel,“ Metallurgical and Materials Transactions B, December 2017.
- [5] M. Nzotta und D. Sichen, „Impact of slag-refractory lining reactions on the formation of inclusion in steel,“ Ironmaking&Steelmaking, December 2004.

## Lip Castables, Applications and Comparison in Free Board and Lip Section of Steel Casting Ladles

Çelik Döküm Potaları Free Board ve Ağız Bölgesinde Uygulamalar, Betonlar ve Karşılaştırmalar

Ali SESVER<sup>1</sup>, Emin ERSÖZ<sup>1</sup>, Furkan BAŞER<sup>1</sup>, Emine SARI<sup>2</sup>, Denis KRUTIKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süperref, <sup>2</sup>Weerulin - Türkiye, Germany

### Abstract

Increasing steel production needs high quality refractories with innovative quality and easy application. Steel Casting ladle process is one of the main parts of steel production stages. Slag erosions and steel penetration in slag zone are general causes of ending for ladle campaign.

Different methods apply in the free board and lip section of steel casting ladles. Basic/acidic mortar combinations or monolithic castables are applied. Magnesite, Magnesite-Chrome ramming mortars are used as basic mixes. Regular castable, vibrating castable, self-flow castable, shotcreting castable can be used as acidic product.

### 1. Introduction

Application type in lip section is mainly depend on ladle flash structure, ladle treatment process and availability of vacuum process. If there is vacuum application after ladle process, lip castable is more preferable. If there is no vacuum application, ramming, plastering and shotcreting type applications are possible. In that case, cheapest and/or easiest type is most common, if there is also slag line repair.

In this study, we have compared free flow and shotcreting advantages and disadvantages of application differences and product comparison in free board and lip sections.

### 2. Experimental Procedure

In this paper, we have compared actual application in SÜPERREF and WEERULIN Customers. Free Flow and shotcrete Castable produced by using SÜPERREF and WEERULIN GmbH combined formulation.

**Table 1.** Chemical Properties of Castables.

	Free Flow	Shotcrete
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,0	87,0
SiO <sub>2</sub>	0,3	10,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3	0,5

**Table 2.** Typical Physical Properties of Castables.

	Free Flow	Shotcrete
Water Demand lt/100kg	6,0-7,5	5,0-6,0
BD@110°C, gr/cm <sup>3</sup>	3,15	3,08
BD@1000°C, gr/cm <sup>3</sup>	3,00	3,00
BD@1500°C, gr/cm <sup>3</sup>	3,05	3,05
CCS@110°C, N/mm <sup>2</sup>	80	120
CCS@1000°C, N/mm <sup>2</sup>	75	150
CCS@1500°C, N/mm <sup>2</sup>	105	180

### 2.1. Free Flow- Lip Castable

In the first application; free-flowing castable containing 95% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was used. Remaining from brick lining and surface of safety lining bricks has to be clean for better setting. Molds are placed in the lip section of the steel casting ladle.



**Figure 1.** Free Flow Lip Castable molding



**Figure 2.** Free Flow Lip Castable molding

The dry castable taken into 250 kg mixer and is mixed with 6-7% of water and poured into the mold after it reaches the desired flowing consistency. The total casting process takes approximately 60-75 minutes.



**Figure 3.** Free Flow Lip Castable Application



**Figure 4.** Molds left after 3 hours

It holds for 180-200 minutes for the castable to dry under applications conditions and the mold is removed. Then, the ladle is heat-up according to the regime of the working lining bricks of the steel casting ladle.

### 2.2. Shotcreting Castable

The second application; Shotcreting (spraying) castable containing 87% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was used. After mixing the dry castable with 5-6% of water in the shotcrete mixer, it is pumped, and the wet mortar is sprayed with nozzle in which the activator and air meet at the outlet.

Compared to normal gunning applications, shotcrete castable sprayed with low water addition similar to vibrating castable. Then, the ladle is heat-up according to the regime of the working lining brick of the steel casting ladle.

After shotcreting application, no need to wait for special castable drying. Ladle bricks are ready for pre-heating process.



**Figure 4.** Shotcreting Castable Application



**Figure 5.** Shotcreting Castable before and just after application

There are 2 slag line repairs for every 30 heats. The consumptions are about 1,6 – 1,8 tons for each application. Total consumption per ladle is 5.0tons.

### 3. Results and Discussion

Our customers are using these products regularly for last 3 years. Advantages and differences are shown in table 3.

**Table 3.** Advantages, similarities or differences of castables.

	Free Flow	Shotcrete
Anchors	No	Yes
Molding	Yes	No
Application	step by step (Casting with 200-250 kg batches)	Continues spraying
Application Time	60-75 minutes	30-45 minutes
Dilatation	4 pcs ceramic blanket quarterly	No
Dry Out time	180-200 minutes	No

### 4. Conclusion

Our customers have long contact time processing conditions with respect to common steel processes and need high quality and reliable products which fits severe working conditions.

The main reason of ending ladle performances are slag level bricks. Performance of lip castables fit customer demand. After ladle campaign ends, the castable body shows that it may have 30-40% more possible performance.

For continuous application of Self-flow castable, special mixer and feeding system is required.

### Acknowledgment

Thank you to our customers for their strong support.

### References

- [1] Y.Yamada, Improvement of Shotcrete Material for Torpedo Cars, Unitecr2011, (2011) 1-D-9.
- [2] P.Tassot, T. Schemmel, Updated Concepts for Steel Ladles, 60th International Colloquium on Refractories, (2017) 62-65
- [3] A. Gerz, M. Schmid, G. Walenta, N. Noel, A. Sax and P. Quirnbach, Characterization of Low Cement Castables in Application - Related Formulation Change, 64<sup>th</sup> International Colloquium on Refractories, (2021) 85-88.
- [4] R.Sarkar, A.Satpahty, High Alumina Self-flow Castables with Different Binders,
- [5] J. Seyerly, Chemical Additives for Castables, (2011) 1-D-11.

## Sıcak Haddehanelerde Şerit Hadde Prosesinde Edger Değişim Süresinin SMED Metoduyla Optimizasyonu

Optimization of the Edger Change Time at The Strip Rolling Process in Hot Mills with The SMED Method



**Sonnur KORKMAZ, Kerem TÜRER, Fuat ERDEM, Anıl AGADANGİL**

Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi - Türkiye

### Abstract

This study was carried out by Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş. It was made to optimize the changeover times of the edge roles in the strip rolling process in the Hot Rolling Mill by using the SMED method.

Our method consists of 7 steps. The first stage is the preparation process which carried out to understand the current situation.

Before the size change, the set up steps are written on the created template. In the second stage, time study was taken for size changes. The time study was completed and the analysis was made with the team created. The basis of the actions determined as a result of the analysis is to transform the internal set-ups into external set-ups. In the next step, action plans were created so that the internal and external setups can be shortened within themselves. After that, the actions taken were implemented.

The standardization process, which is the basis of the lean production approach, was followed as the last step and standardized by shortening the changeover period.

With the application of SMED methodology in Edger change times, an average of 48 hours per year has been brought into production.

### Özet

Bu çalışma, Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş. Sıcak Haddehanesinde bulunan, şerit hadde prosesinde yan ezme rollerinin değişim sürelerinin SMED metodu kullanılarak optimizasyonunun sağlanmasına yönelik yapılmıştır.

Metodumuz 7 adımdan oluşmaktadır. İlk aşama hazırlık sürecidir. Hazırlık sürecinde mevcut durumun anlaşılması için ön çalışmalar yapılmıştır. Ebat değişimi öncesi set up adımları oluşturulan şablona yazılmıştır. İkinci aşamada ebat değişimleri için zaman etüdü alınmıştır. Zaman etüdü

tamamlanan sürecin oluşturulan ekip ile analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda belirlenen aksiyonların temelinde iç set upları dış set upa dönüştürmek yatmaktadır. Sonraki adımda iç ve dış set upları kendi içlerinde kısaltılabilmesi için aksiyon planları oluşturulmuştur. Bunun ardından alınan aksiyonlar uygulanmıştır.

Yalın üretim yaklaşımının temelinde olan standartlaştırma süreci son adım olarak takip edilmiştir ve değişim süresi kısaltılarak standart hale getirilmiştir.

Edger değişim sürelerinde SMED metodolojisinin uygulanması ile yıllık ortalama 48 saatlik süre üretime kazandırılmıştır.

### 1. Giriş

Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş.'ye bağlı Yassı Yapısal Çelik Üretim Tesislerinde 250 ton/saat haddeleme kapasitesine sahip sıcak haddehane bulunmaktadır.

Firmamız bünyesinde üretilen ve kalite gereksinimlerine göre yurtdışından ithal edilen slablar haddehane stok sahasında üretim planlama departmanının yapmış olduğu programa göre stoklanmaktadır.

Üretime girecek slablar hazırlanan üretim matrislerine göre fırına şarj edilmektedir. Tavlama fırınında istenilen sıcaklığa ulaşan slablar sırasıyla descaler, şerit hadde, sıcak hadde ve duşlu masa sisteminin ardından bobin haline getirilmektedir.

SMED çalışmalarını yürütmüş olduğumuz edgerler, şerit hadde prosesine ait ekipmanlardır.

Edgerlerin değişimleri ortalama 15 günde bir yapılmaktadır. Çalışma öncesi her bir değişim süresi ortalama 3,5 saat civarındadır. Şekil 1'de edgere ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 1. Şerit Haddehane Edger Görşeli

Yapılan SMED metodolojisi ile değişim süresi 3,5 saatten 30 dakikaya düşürülmüştür. Kazanılan süre ise üretime kazandırılmıştır.

## 2. Metod Çalışması

Bu çalışma yalın üretim araçlarından biri olan SMED (Single Minute Exchange of Die) metodu ile gerçekleştirilmiştir. Yalın üretimin temeli, işletmelerde meydana gelmekte olan israfı minimize etmektir.

SMED çalışmalarının temel amacı kalitenin gelişmesine öncülük etmek, değişimi gerçekleştiren personelin iş yükünü hafifletmek, değişim hatalarını ortadan kaldırmak, üretim kapasitesinin artışı sağlamak, müşteri taleplerindeki ani değişikliklere uyumda esneklik ve hız sağlamaktır.

SMED çalışmaları düşük maliyetlerle sağlanmaktadır. Bu metodun temelini iç set up'lar ve dış set up'lar oluşturmaktadır. İç set up makine durdurulduğunda yapılabilen çalışmalara verilen isimdir. Dış set up ise üretim devam ederken yapılabilen çalışmalardır. SMED metodu yedi adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar;

### 1. Hazırlık:

Hazırlık sürecinde değişimin set up adımları belirlenmeli, kayıt için gerekli ekipmanlar(kronometre, video kayıt vs) hazırlanmalı formlar ve süreçte görevli olacak kişilerin görev dağılımları belirlenmelidir.[1]

### 2. Ebat Değişimini Kaydetme:

Hazırlık sürecinde oluşturulan ekipmanlar ile zaman etüt çalışması yapılarak ebat değişimi kayıt altına alınmalıdır. Ebat değişimi kayıt edildikten sonra SMED araçlarından bir tanesi daha olan spagetti diyagramı da (personelin hareketi, akışım hareketi gösterilmektedir) kullanılmaktadır.[2]

### 3. Ebat Değişimini Analiz Etme:

Değişim sürecindeki her bir iş adımının iç set up mı yoksa dış set up mı olduğunun ayrımı yapılmaktadır. Set up adımları ve süreleri analiz edilmektedir.[3]

### 4. İç Set Up'ları Dış Set Up'a Çevirme:

Önceki adımda belirlediğimiz set up adımlarında tespit edilen iç set up'ların, dış set up'a dönüşümü yapılmaktadır.[4]

### 5. İç ve Dış Set Up'ların İyileştirilmesi ve Aksiyon Planının Oluşturulması

İç ve dış set up'lar ayrı ayrı iyileştirilmektedir. İyileştirilmek için gerekli olan aksiyon planları belirlenmeli, sorumlu kişi ve terminler oluşturulmaktadır.[5]

### 6. Aksiyon Planlarının Uygulanması:

Belirlenen bütün aksiyonlar gerçekleştirilmektedir. Değişimin etkisini gözlemlemek için önce ve sonra data analizi yapılmaktadır.

### 7. Uygun Çözümlerin Standartlaştırılması:

Set up standardının oluşturulması, standarda uyum ve takip işlemleri yapılmaktadır. Ek iyileştirmeler ve yaygınlaştırma çalışmaları bu adımda gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. SMED Metodu Uygulama Adımları

## 2.1. Metodun Uygulanması

Yassı Yapısal tesisimizde bulunan Sıcak Haddehaneye bağlı şerit hadde birimindeki edger değişim süresinin kısaltılması için bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

SMED metoduyla sacın yan ezme işleminde kullanılan rollere ait değişim sürelerinin azaltılması hedeflenmiştir.

Edger değişimleri bakım duruşlarında periyodik aralıklarla yapılmaktadır.

Çalışmada ilk önce hazırlık aşaması tamamlanmıştır. Bu aşamada etüt çalışmasında kullanılacak ekipman ve set up talimatı oluşturulmuştur. Bu talimatın önceden oluşturulmasının amacı bilinen durum ile mevcut durum arasındaki set up adım farklarının saptanmasını amaçlamıştır. Bu hazırlıkların yanı sıra değişim bölgesine kamera konumlandırılarak operasyon kaydedilmiş ve tekrar tekrar gözden geçirilmiştir. Bunun amacı işlemin, işi yapan ekiple tekrar gözden geçirilerek fark edilmeyen hatalara da dikkat çekilmesini amaçlamaktadır.

İkinci aşama olan ebat değişimini kaydetme adımında beklenen ilk periyodik bakımda edger rolleri değişim süreleri kronometre ile kaydedilmiştir. Yapılan ölçümlerde kronometre üzerinden 3,5 saatlik süre tespiti yapılmıştır.

Üçüncü aşama olan ebat değişiminin analiz edilmesi adımında yapılan etüt çalışmasının her bir maddesi ve süresi teker teker incelenmiştir. Set up adımlarının analizi sırasında bazı sürelerin olması gerektiğinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu süreyi tutuyor olmamızın bize en büyük kazancı tahmin ettiğimizden de uzun süren set up adımlarının var oluşunun tespit edilmesinin sağlanmasıdır.

Dördüncü aşama olan iç set up'ları dış set up'a çevirme adımında analiz adımında tespit edilen;

-Malzeme getirme götürme

-Ekipman yağlama

-Edgerin üzerinde bulunan yürüme platformunun iç set up'tan dış set up'a dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir.

İç set up makine durdurulduğunda yapılabilen çalışmalara verilen isimdir. Dış set up ise üretim devam ederken yapılabilen çalışmalardır.

Beşinci aşama olan, iç ve dış set up'ların iyileştirilmesi ve aksiyon planının oluşturulması adımında edger gövdesini üstten sabitleyen sekiz adet krapo ve buna bağlı olan sekiz adet civata sistemden iptali için aksiyon oluşturulmuştur. Yapılan analizde tespit edilen edgere takılan pimlerin, zor takıldığı tespit edildiği için pimlerin çaplarının düşürülmesi için aksiyon planı oluşturulmuştur. Prosesteki edger roll değişiminde işlem adımları öncelikler şaftın sonrasında edger rollünün kaldırılması şeklinde yapılmaktadır. Bu işlemlerde iki farklı aparat kullanılmakta idi. Belirlenen yeni aksiyonda ise bu iki aparatın işlevini görebilecek tek bir aparat tasarımı için aksiyon oluşturulmuştur.

Dişli nipel bağlantılı olan gres bağlantısının, edger değişim süresinde zaman kaybına neden olduğu analiz adımında tespit edilmiştir. Bu adım için gresin dişli nipel bağlantısının checkli bağlantıya çevrilmesi için aksiyon planı

oluşturulmuştur. Yedek edger rollerinin sistemdeki konumuna uygun sehpa dizaynı için tasarım planlanmıştır. Çalışma esnasında takımhaneden ekipman getirme götürme işinin engellenmesi için kullanılacak takım listesi yapıp, talimata eklenmesi için aksiyon planı oluşturulmuştur.

Şaft kilitlerinin revize edilmesi için aksiyon alınmasına karar verilmiştir.

Edger rollerinin alınabilmesi için şaftlar kaldırılmakta ve araları çektirme ile açılmaktaydı. Çektirme ekipmanlarının kullanım zorluğu yüksek ve zaman kayıplarına neden olmakta idi. Planlanan yeni aksiyonda ise edger yataklarının kendi hareketiyle şart aralarının açılması planlanmıştır. Böylece çektirme ekipmanlarının bertaraf edilmesi öngörülmüştür.

Çalışma öncesi yeni takılacak olan edger yatağının kama yönü ayarlanmadan konulmakta ve değişim ayarı yapılmakta idi. Planlanan bu aksiyonda ise yeni takılacak edger yatağının kama yönü ayarlandıktan sonra edger montajı yapılmaya başlanacaktır. Ayrıca edger housing yatakları üzerine kamanın konumunu belirten sabit bir işaret konulması planlanmıştır.

Altıncı aşama olan aksiyon planlarının uygulanması adımında, beşinci adımda belirlenen ve aksiyon planları oluşturulan maddelerle ilgili planlar devreye alınmıştır.

-Edger gövdesini üstten sabitleyen sekiz adet krapo ve buna bağlı olan sekiz adet civata sistemden iptal edilmiştir.

-Edgere takılan pimlerin çapları düşürülmüştür.

-Edger şaftının ve edger rolünün aynı aparatla kaldırılmasını sağlayan bir aparat yapılmıştır.

-Dişli nipel bağlantılı olan gres girişi, checkli bağlantıya çevrilmiştir.

-Yedek edger rolleri için uygun sehpa dizayn edilmiştir.

-Edger değişim roll talimatı revize edilmiştir.

-Şaft kilitleri revize edilmiştir.

-Edger rollerinin alınabilmesi için uygun tasarım ile çektirme kullanımı iptal edilmiştir.

-Değişim öncesi kama yönü ayarlı ve işaretli olarak konumlandırılmaya başlanmıştır.

Yedinci aşama olan uygun çözümlerin standartlaştırılması adımında, yapılan aksiyonların takibi ve oluşabilecek hatalarının minimuma indirilmesi indirilmesi hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan etüt çalışmaları ve aksiyon planlarının sonucunda edger değişim süresi 210 dakikadan, 30 dakikaya düşürülmüştür. Çalışma ile her bir değişimden 180 dakika süre kazancı sağlanmıştır.

Yılda ortalama edger değişim sayısı 20 adettir. Bu da yıllık 3.600 dakikalık sürenin üretime kazandırılması anlamına gelmektedir.

### 4. Sonuç

Değişen pazar ve ekonomik koşullar, şirketin kuruluşun stratejik hedefleri üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır ve bu da firmada yürütülen iyileştirme projelerinin amaçlarının kuruluşun stratejik amaçlarına paralel hale getirilmesini zorunlu kılmıştır

"İç ayarlar" yani makine duruş halindeyken yapılan ayar işlemlerinden hangilerinin makine henüz çalışmaya devam ederken yapılabileceğinin belirlenmesi ve bu bulgulara bağlı olarak edger değişiminin iş akışının yeniden düzenlenerek kontrol listeleri ile desteklenmesinin kalıp değişim süresini belirgin olarak azalttığı görülmüştür. Bu beklenen bir sonuç olmakla birlikte, SMED metodolojisinin sadece işi yapış şeklinin değiştirilmesi ile bile belirgin iyileştirme yapılabileceğini gösteren önemli bir örnektir.

Bunun yanı sıra ilginç bir bulgu olarak, mühendisler daha önce de edger değişim sürelerinin düşürülmesi için benzer yaklaşımlar kullandıklarını ve olumlu sonuçlar aldıklarını, ancak zaman içinde kalıp değişim sürelerinin eski haline döndüğünü söylemişlerdir. Ancak bu kez durum farklı olmuş ve yapılan kontrollerde iyileştirmelerin kalıcı olduğu gözlenmiştir. Burada SMED adımı uygulanan 7.basamak olan uygun çözümlerin standartlaştırılması aşamasının gerekliliğini bariz bir şekilde kanıtlamaktadır.

### Teşekkür

Proje süresi boyunca emek harcayan tüm mesai arkadaşlarımıza, proje süresi boyunca teknik ve manevi desteklerini esirgemeyen Ar-Ge yöneticimize ve çalışmalar boyunca tüm imkanları sağlayan TOSYALI HOLDİNG ailesine teşekkür ederiz.

### Referanslar

- [1] Journal of Technology Management & Innovation J. Technol. Manag. Innov. 2011, Volume 6, Issue 1 Single Minute Exchange of Die. A Case Study Implementation syf.132-143
- [2] Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen Silvia Pellegrini, Devdas Shetty and Louis Manzione College of Engineering, Technology, and Architecture University of Hartford West Hartford, Connecticut 06117, USA syf:2354-2359
- [3] Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen Silvia Pellegrini, Devdas Shetty and Louis Manzione College of Engineering, Technology, and Architecture University of Hartford West Hartford, Connecticut 06117, USA syf:2354-2359
- [4] A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology R. I. McIntosh a , S.J. Culley a , A.R. Mileham a & G.W. Owen a a Department of Mechanical Engineering , University of Bath , Bath, BA2 7AY, UK Published online: 14 Nov 2010. Syf:2384
- [5] 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), June 11-14, 2018, Columbus, OH, USA A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends syf:2354-2355

University of Hartford West Hartford, Connecticut 06117, USA syf:2354-2359

[3] Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen Silvia Pellegrini, Devdas Shetty and Louis Manzione College of Engineering, Technology, and Architecture University of Hartford West Hartford, Connecticut 06117, USA syf:2354-2359

[4] A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology R. I. McIntosh a , S.J. Culley a , A.R. Mileham a & G.W. Owen a a Department of Mechanical Engineering , University of Bath , Bath, BA2 7AY, UK Published online: 14 Nov 2010. Syf:2384

[5] 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), June 11-14, 2018, Columbus, OH, USA A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends syf:2354-2355

## APO – Making Refractory Wear Predictable



**Gunnar KUNZ<sup>1</sup>, Paulo SOUZA<sup>1</sup>, Gregor LAMMER<sup>1</sup>, Samuel OLIVEIRA<sup>1</sup>, Karl ZETTL<sup>1</sup>, Nikolaus MUTSAM<sup>2</sup>, Franz PERNKOPF<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>RHI Magnesita, <sup>2</sup>Mutsam Engineering, <sup>3</sup>Graz University of Technology - Brazil, Austria

### Abstract

This paper provides insights about the benefit of artificial Intelligence (AI) in a secondary steel making application of a RH (Ruhrstahl Heraeus) degasser. The main aim was to predict the refractory lifetime of the RH degasser by extracting information from the process parameters and modelling the impact on refractory material using machine learning techniques. The first step was to determine relevant process parameters by using feature selection methods. Those parameters were then used in a regression model to predict the wear of the degasser lining in two different customers [1, 2]. The developed web based solution – APO Portal – and the data model security will be also topic of this paper.

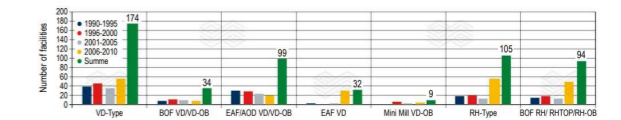
### 1. Introduction

In recent years, the steel industry has recorded a very strong increase in demand, with the production levels on par with that only previously experienced in the early fifties when the world steel outputs increased by around 5–7% yearly [3]. Along with the increased demand, the requirement for a cleaner steel increases every year, forcing the industry to rapidly adapt to new requirements and specifications [4]. The term clean steel means a low or ultra-low level of impurity elements such as nitrogen, hydrogen, sulphur, phosphorus, and even carbon. Also, a very controlled level of inclusions is required when it comes to size distribution, morphology, and composition [4]. Figure 1 summarises the maximum impurities fraction and the maximum inclusion size for different end users. Highlighted in yellow are specifications only achievable when using a vacuum degasser facility.

Steel product	Maximum impurity fraction	Maximum inclusion size
IF steel	[C]≤30ppm, [N]≤40ppm, T.O.≤40ppm, [C]≤10ppm, [N]≤50ppm	
Automotive & deep-drawing sheet	[C]≤30ppm, [N]≤30ppm	100 µm
Drawn and ironed cans	[C]≤30ppm, [N]≤30ppm, T.O.≤20ppm	20 µm
Alloy steel for pressure vessels	[P]≤70ppm	
Alloy steel bars	[H]≤2ppm, [N]≤10-20ppm, T.O.≤10ppm	
HIC resistant steel (sour gas tubes)	[P]≤50ppm, [S]≤10ppm	
Line pipe	[S]≤30ppm, [N]≤35ppm, T.O.≤30ppm, [N]≤50ppm	100 µm
Sheet for continuous annealing	[N]≤20ppm	
Plate for welding	[H]≤1.5ppm	
Ball bearings	T.O.≤10ppm	15 µm
Tyre cord	[H]≤2ppm, [N]≤40ppm, T.O.≤15ppm	10 µm
Non-grain orientated magnetic sheet	[N]≤30ppm	
Heavy plate steel	[H]≤2ppm, [N]≤30-40ppm, T.O.≤20ppm	Single inclusion 13 µm Cluster 200 µm
Wire	[N]≤60ppm, T.O.≤30ppm	20 µm

**Figure 1.** Typical steel cleanliness requirements for various steel grade.

When it comes to clean steel production, the vacuum degasser facilities are the most important reactor in secondary metallurgy. This is due to their unique capabilities to reach very low levels of C, N, and H in the steel in addition to heating and desulphurisation capabilities, which other reactors can also do. Therefore, it is unsurprising that the installation of vacuum facilities worldwide has inevitably increased tremendously in the last two decades as can be seen in Figure 2 [5].



**Figure 2.** Vacuum facility installations worldwide from 1990-2010.

Laser scans are a very common technology in the steel industry to measure refractory wear in basic oxygen furnaces and ladles. However, with RH degassers, there is currently no technology available that can measure the refractory thickness inside the lower vessel or in the snorkels during operation. Additionally, there is still no technology that can measure the shell temperature as a method to indirectly correlate the remaining refractory thickness inside the vessel. Infrared cameras are being investigated in a steel mill in Austria [1] and more conclusive results will follow in the near future. Finally, the RH degasser vessel is a reactor where refractory hot inspections and maintenance between heats are either impossible or very limited. Therefore, there was no

systematic and reliable way to judge if the refractory lining is in a good condition to perform the next treatment sequence. Figure 3 summarizes the above.

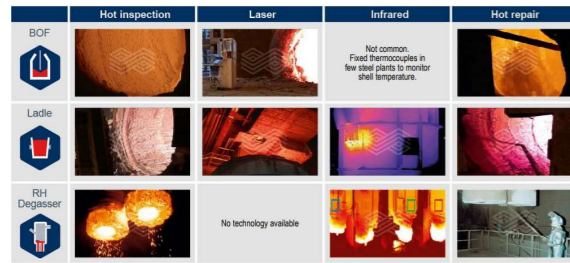


Figure 3. Refractory monitoring and maintenance for different equipment.

In addition to this, because of the wide range of steel grades that normally a steel company produces, the process parameters vary greatly, which leads to a completely different refractory wear pattern from one degasser campaign to another. Figure 4 shows a variation of the process parameters (average per campaign) of up to 400% in Customer A. One example of the impact of different process variables in the refractory wear profile can be seen in Figure 5: For the campaign (a) the left average heats per day were 0.75, total oxygen 0.74, and vacuum time 0.71. For the campaign (b) the average heats per day were 0.50, total oxygen 0.81, and vacuum time 0.67. As can be observed, refractory wear pattern is completely different from one campaign to another. Manage refractory performance under such conditions is extremely challenging and can lead to unpredicted events such as a lower vessel hot spot, requiring an unscheduled shutdown and consequently production losses. It became obvious that a data-based decision would be the only option available to address the ambitious targets of performance in Customer A and B.

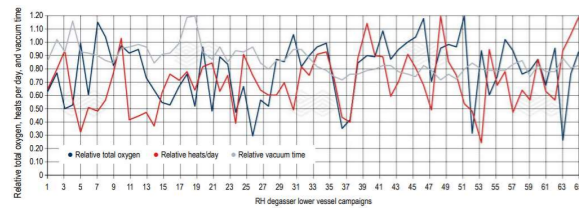


Figure 4. Relative average of some process parameters for RH degasser.

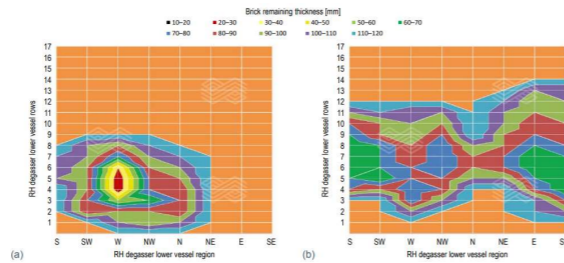


Figure 5. Lower vessel wear profile in April 2020 (279 heats) and (b) lower vessel wear profile in May 2020 (226 heats).

In the steelmaking industry, there is a demand for process optimization and predictability of the refractory lifetime, based on information recorded during the production process [6-8]. Recently, the volume of recorded data has been increasing dramatically and machine learning has been exploited to determine useful information for modelling the production processes and the most influential parameters [9]. In this study, the aim was to predict the refractory lifetime based on data acquired during production. A number of process parameters were preselected for building a statistical model to determine the influence on refractory wear.

2. Experimental Procedure

The data processing pipeline for predicting the refractory wear is shown in Figure 6 (a). It uses methods from machine learning to determine the conditions of the lining based on residual thickness measurements and process parameters. The aim was to predict the wear and lifetime of the working lining. Furthermore, the most influential production parameters responsible for the wear of the lining could be determined. Understanding the influence and correlation of process parameters help to identify causes for unwanted process anomalies and incidents.

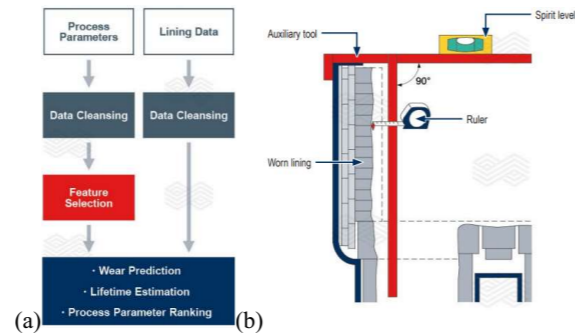


Figure 6. (a) Processing pipeline for wear prediction and (b) sketch of the measurement procedure at the vessel wall.

2.1. Process Data

During each treatment, a number of preselected process parameters were recorded such as temperatures, consumptions, durations, chemical composition additions, and lift gas rate just to name some of these parameters. As for the lining measurements, these process parameters require preprocessing and data cleansing. The most important process parameters for wear prediction were determined automatically through a feature selection stage as discussed below.

2.2. Lining Data

This data provides the initial lining thickness and additional lining repair information. Furthermore, at the end of a vessel life campaign, the remaining lining thickness was measured manually as shown in Figure 6 (b). These measurements represent the minimal lining thickness for each of the 17-20 brick layers and 8 segments per layer of the lower part of the vessel sidewall. Additionally, the bottom lining thickness was also measured. Several prediction models were created for areas with large wear rate which are called hot spots.

2.3. Preprocessing and Cleansing

A regression model cannot be applied directly to data containing missing features. Furthermore, data samples which extremely deviate from the usual values, often referred to as outliers, can harm model training and therefore impair prediction accuracy. Hence, data preprocessing and cleansing is necessary in many applications. This is especially important in cases of small data sets, where discarding incomplete samples or samples containing anomalies results in the loss of a significant portion of the available data. Replacing missing values with a guess or estimate is known as imputation – an excellent summary is provided in [10]. Applying imputation techniques completes the data set for any conventional regression method. Outlier detection and feature imputation must be treated with extreme care, so that important information is neither lost nor blurred. In this study, a combination of rule-based and nearest neighbor imputation was used to complete the available data. More details on data cleansing and imputation for this application are provided in [11].

2.4. Refractory modeling and prediction

A statistical model for predicting the wear rate can be determined by regression analysis. In classical regression the target value  $t$  is continuous, and the model input are the selected process parameters  $x$ . In this case, the target  $t$  was the maximal wear rate in the specified lower vessel region, i.e. the maximum of the refractory wear of the lower vessel normalized by the campaign length. The regression model

was a function mapping from the input  $x$  to the target value  $t$  as  $t=f(x)$ . Furthermore, the aim was to exploit only the most influential process parameters  $x$  in the regression model. Therefore, these parameters were automatically determined by feature selection algorithms.

2.5. Feature Selection

A sequential feature selection method was used, which was computationally efficient, but may result in a suboptimal feature subset of process parameters. Specifically, sequential forward floating selection (SFFS) was used [11]. This algorithm determines a feature subset which optimizes the evaluation criterion  $J$ . The cross-validated root mean square error (RMSE) of the regression model was used as evaluation criterion  $J$ . The SFFS algorithm has the advantage that the floating mechanism enables the rejection of already selected features. This partly avoids nesting [11]. Figure 7 shows the cross-validated RMSE  $J$  of the regression model for a feature subset size from 1 up to 60 (x-axis). When using the best 10 features in the regression model, i.e. a feature subset size of 10, an RMSE lower than 0.125 was obtained for the wear rate. When using a feature subset size of ~40 parameters, the best regression performance was obtained.

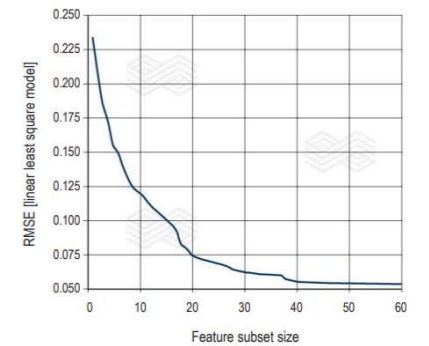


Figure 7. Sequential forward floating selection (SFFS).

In Customer A, 32 RH Degasser campaign were used to develop the model, where in Customer B were used 38 campaigns.

3. Results and Discussion

3.1. Customer A

The campaign length, i.e. the number of treatments, varied from 60 up to 200. In total, approximately 5000 data samples (i.e. treatments) were the basis and 14 selected features (process parameters) were used for the regression model. Figure 8 shows the comparison between what the model predicted and what was found after doing cold measurements in the lower vessel refractory bricks. The largest absolute prediction error for the wall of the RH



degasser was ~50mm. Data was being shared via email as a pdf report that can be seeing on Figure 9.

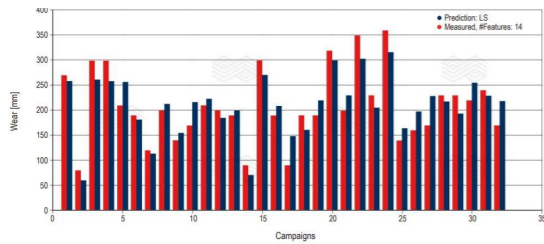


Figure 8. Measured and predicted wear in [mm] for 32 campaigns for one region in lower vessel wall, based on 14 process parameters.



Figure 9. Campaign summary report.

3.2. Customer B

The Figure 10 shows a representation of the wear rate predicted by APO and the real measurements after the vessel campaign. The maximum absolute difference between the predicted wear rate and the measured value was 0.22 mm per treatment during campaign. The maximum residual thickness error reported was 45 mm. The mean absolute thickness error was approximately 17 mm. After the APO model was developed the results were initially shared with Customer B via email on a daily basis after receiving the required process data. The information was essentially a summary of the main process parameter conditions as well as the predicted lifetime for the vessel, as calculated by the machine learning model. During the early stages the decision to take the vessel out of operation was a combination of historical experience of the melt shop engineers and the result of the model prediction. Eventually, a combination of intense work of the melt shop team and with increasing confidence in the APO's prediction, Customer B achieved the historic record of 330 heats on the lower vessel and snorkels.

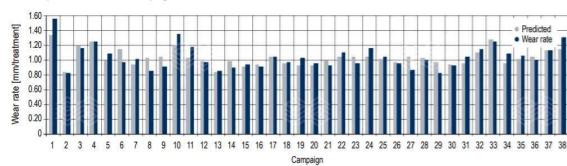


Figure 10. Wear rate prediction for each campaign.

After the record, the vessel wear profile was compared with the APO prediction, and an error rate below 4% was observed. This correlation of the predicted and actual wear enabled the process engineers to take the vessel out of operation only considering data-driven information—APO. It is clear in Figure 11 that the green line (true vessel life) became much more aligned to the blue line (predicted by APO). Calculating this difference in the before and after record, there was a saving of 43 heats per vessel campaign on average, which represents savings of 18% of the entire refractory cost for the lower vessel. The difference today remains approximately 19 heats because the decision to stop the vessel production needs to be very well coordinated, both upstream and downstream, as well as with the refractory installation team.

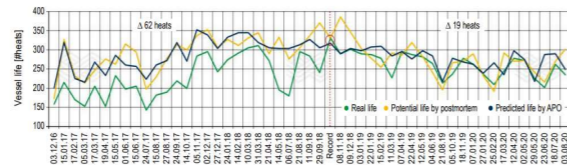


Figure 11. Potential life calculated via postmortem (wear profile), predicted life via APO and actual life of the RH degasser lower vessel.

On top of the savings refractory related it is important to mention that also there was an improvement on downtime and safety. Now, the steel shop can better plan the lower vessel operation and they were also able to eliminate unpredicted events refractory related (Figure 12).

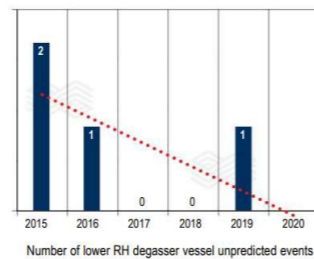


Figure 12. Unpredicted events in the lower vessel refractory related.

3.3. APO Online Tool

From sharing pdf reports with our customers to a complete web-based solution. This was the journey of a RHI Magnesita – Customer cooperation to bring to the next level the experience of refractory wear/lifetime prediction. The Figure 13-15 shows some screen shoots of what is possible on the APO Portal. There, customer will be able to see, for the different regions of the vessel, what is the lifetime prediction for the existing campaign, online. Also, the wear profile from previous campaigns can be visualized, making the lining optimization process easier

and data driven, leading to a lower cost and safer process operation.



Figure 13. Life time prediction.



Figure 14. Wear profile of the RH Degasser – Lower Vessel

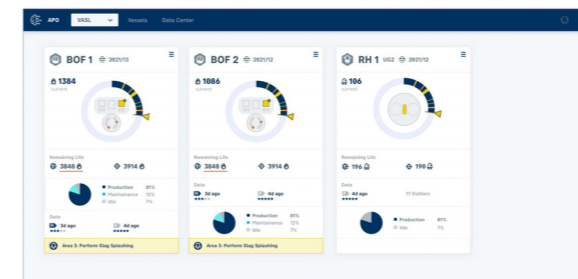


Figure 15. APO-Portal Cockpit: Manage your aggregate.

3.4. Data Security

The APO-Portal relies on the highest security standards when comes to data sharing. Process and refractory wear data are stored in a Microsoft Azure Cloud center in Europe. For data transfer, it was developed 3 different ways to perform it:

1. RHI Magnesita APO-Portal to manually upload data (Figure 16);
2. Direct Azure upload. Automated, RHI Magnesita is providing link to cloud storage account and security token;
3. Tributec solution – detailed below.

The Tributec solution architecture can be visualized on Figure 17. An external company is responsible to intermediate the data transaction. Data transfer only

happens with direct approval from the data provider. Also, all data transaction is encrypted, what increases even more the safety reliability.

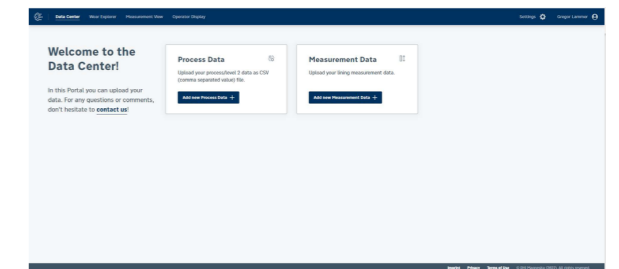


Figure 16. Data sharing using APO-Portal.

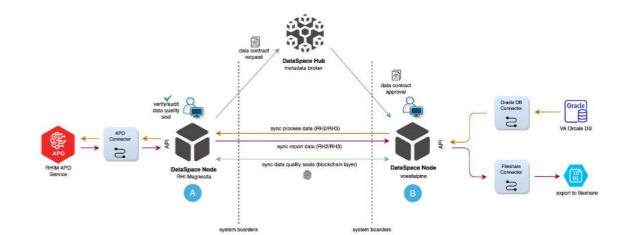


Figure 17. Data sharing using APO-Portal.

4. Conclusion

We demonstrated that a refractory wear model can be trained, and a reliable and automated refractory wear prediction is possible with a prediction accuracy better than 25 mm for most campaigns. The largest absolute prediction error for the wall of the RH degasser was approximately 50 mm. This model generates gains that could range between 10-20% of the total cost of the refractory in the lower vessel of the RH Degasser. Also, safety and downtime were optimized. A modern and user-friendly interface was created to see the visualize the prediction and the data transfer/storage happens considering the highest security standards.

References

[1] Viertauer, A. Refractory Lifetime Prognosis for RH Degassers. bulletin, The Journal of Refractory Innovations. 2020, 36–41.  
 [2] Souza, P. Automated Process Optimization at RH Degasser in Ouro Branco – Results After 2 Years of Operation. Bulletin, The Journal of Refractory Innovations. 2021, 42-47.  
 [3] <https://www.worldsteel.org>; accessed 13.1.2022.  
 [4] Zang, L. and Thomas, B. State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness. ISIJ International. 2003, 43, 3, 271–291.  
 [5] Tembergen, D. Verbesserte Stahllaufsimulation beim RH-Prozess. Stahl und Eisen. 2009, 129, 10, 41–52.

[6] R. Steiner, G. Lammer, C. Spiel, C. Jandl, "Refractories 4.0," BHM, 2017, Vol. 162, No. 11, pp. 514–520.

[7] G. Lammer, R. Lanzenberger, A. Rom, A. Hanna, M. Forrer, M. Feuerstein, F. Pernkopf, N. Mutsam, "Advanced data mining for process optimizations and use of A.I. to predict refractory wear and to analyze refractory behavior," AISTech 2017, Conference proceedings, pp.1195–1207.

[8] A. Viertauer, N. Mutsam, F. Pernkopf, A. Gantner, G. Grimm, W. Winkler, G. Lammer, A. Ratz. Refractory Condition Monitoring and Lifetime Prognosis for RH degasser, AISTech 2019, Pittsburgh, USA, pp. 1081–1087.

[9] Pending Patent Method for determining the condition of a fire-resistant lining of a metallurgical melting vessel applications EP 2 789 960 B1.

[10] J. W. Grzymala-Busse and W. J. Grzymala-Busse, "Data Mining and Knowledge Discovery Handbook", O. Maimon and L. Rokach, Eds. Boston, MA: Springer US, 2010, vol. 1.

[11] P. Pudil, J. Novovičová, and J. Kittler. 1994. Floating search methods in feature selection. Pattern Recogn. Lett. 15, 11 (November 1994), 1119–1125.

## Bilecik Demir Çelik Atık Suyun Geri Kazanımı ile Mavi ve Gri Su Ayak İzi Azaltılması

Reducing Blue and Gray Water Footprints by Recycling Wastewater in Bilecik Demir Çelik



**Aytuğ KARAMEŞE, Muammer BİLGİÇ**

Bilecik Demir Çelik - Türkiye

### Abstract

The importance of water, which forms the basis of life, is increasing day by day. After the start of industrialization at the end of the 19<sup>th</sup> century, the production sector, which had a large share in usable water consumption, realized that this process was not sustainable at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. With the decrease of effectively usable water resources, alternative searches have been started. Although methods have been developed to reduce water use for the protection of vital activities, the results of the study show that it is not sufficient. For these reasons, activities for the reuse of wastewater and reduction of water losses have gained importance for environmental, economic, and social sustainability. Theoretical studies and existing infrastructures prove the benefits of wastewater recovery. It is necessary to work with the inductive method by increasing the regional responsibilities. Without effective work, the risk of water shortages increases. Bilecik Demir Çelik undertakes studies to reuse wastewater to reduce the consumption of clean water resources, thus reducing the blue water footprint and gray water footprint. A facility has been established by BDÇ for the recovery of wastewater collected in Bozüyük Organized Industrial Zone. The resulting wastewater is made ready for reuse. As a result of the recycling of wastewater, 48% of the total water need in the BDÇ was met with recycled wastewater in 2020. At the same time, domestic wastewater is prevented from being released into the nature, and gray and blue water footprints are reduced both within the scope of BDÇ and Bozüyük Organized Industrial Zone. In this study, carried out under the management of BDÇ company, an exemplary facility application and process planning for the recovery of usable wastewater is described in the steel industry which requires high water input and organized industrial zones which are high wastewater source.

### Özet

Yaşamın temelini oluşturan suyun önemi gün geçtikçe artmaktadır. 19. yüzyılın sonlarında endüstriyelleşmenin başlaması ile, kullanılabilir su tüketiminde büyük paya sahip olan üretim sektörü; 21. yüzyıl başında bu sürecin

sürdürülebilir olmadığını anlamıştır. Etkin kullanılabilir su kaynaklarının azalmasıyla birlikte alternatif arayışlar içerisine girilmiştir. Yaşamsal faaliyetlerin korunması için su kullanımının azaltılmasına yönelik yöntemler geliştirilse de çalışma sonuçları yeterli olmadığını göstermektedir. Bu sebepler ile çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik için atık suyun tekrar kullanımı ve su kayıplarının azaltılması için faaliyetler önem kazanmıştır. Teorik çalışmalar ve mevcut altyapılar atık suyun geri kazanımının faydalarını ispat etmektedir. Bölgesel sorumlulukların artırılarak tümevarım yöntemi ile çalışmalar yapılması gerekmektedir. Etkili çalışmalar yapılmadığı takdirde su kıtlığı riski artmaktadır. Bilecik Demir Çelik temiz su kaynaklarının tüketiminin, dolayısıyla mavi su ayak izinin ve gri su ayak izinin azaltılması için atık suyun tekrar kullanıma alınma çalışmaları yapılmaktadır. BDÇ tarafından, Bozüyük Organize Sanayi Bölgesi'nde toplanan atık suyun geri kazanımı için tesis kurulumu gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan atık su tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir. Çalışmalar sonucunda 2021 yılında BDÇ'deki toplam su ihtiyacının %48'i geri kazanılan atık su ile sağlanmıştır. Aynı zamanda evsel atık suyun doğaya salınması da önlenerek hem BDÇ hem de Bozüyük Organize Sanayi Bölgesi kapsamında gri ve mavi su ayak izi azaltılmıştır. BDÇ firması yönetiminde gerçekleştirilen bu çalışmada, su girdi ihtiyacı yüksek olan çelik sektörü ve yüksek atık su kaynağı olan organize sanayi bölgelerinde; kullanılabilir atık suyun geri kazanılmasına yönelik örnek bir tesis uygulaması ve süreç planlaması anlatılmaktadır.

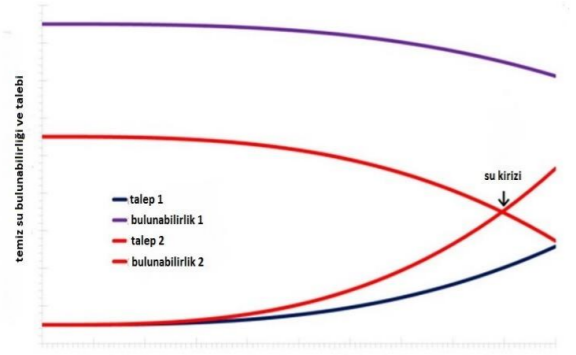
### 1. Giriş

Su kaynakları tüm canlıların yaşamını devam ettirebilmesi için üretken bir çevrenin oluşumu sağlamaktadır. Tüm yaşamsal çevrimler için su girdisi gerekmektedir. Bu çevrimlerin alt kırımları diğer faaliyetleri de sağlamaktadır. Bunlardan en önemlileri gıda ihtiyacının karşılanması ve endüstriyel süreçlerin tamamlanmasıdır [1].

Artan nüfus ve ekonomik büyüme temiz su kaynakları talebini arttırmaktadır. Bu durum gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için baskı oluşturmaktadır. 21. yüzyıl başından

İtibaren, su yönetiminin kontrol altına alınması büyük kuruluşlar ve ülkeler için temel hedef olmuştur [2].

Su kaynaklarının önemini en çok vurgulayan ifadelerden biri Global Burden of Disease (GBD)'in 2017 yılında yayınladığı verilerde ortaya çıkmaktadır. Çalışmaya göre 2017 yılında dünyada 1,2 milyon insan güvenilir olmayan su kaynakları nedeniyle yaşamını yitirmiştir ve bu miktar aynı yıl işlenen cinayetlerde hayatını kaybedenlerin sayısının 3 katıdır [3].



Şekil 1. Dünya Temiz Su İhtiyacı ve Temiz Su Miktarı Değişimi [5]

Dünya yüzeyinin %70'i su ile kaplı olmasına rağmen kullanılabilir su oranı çok daha düşüktür. Dünya Doğayı Koruma Vakfı'nın (WWF) 2012 yılındaki verilerine göre tatlı su miktarı toplam su miktarının sadece %2,5'idir [4].

Boretti ve Rosa'nın yapmış olduğu çalışmada; temiz su miktarının 20. yüzyılın sonuna doğru hızla azalmaya başladığı görülmektedir. Bu değişim Şekil 1'de gösterilmektedir. 21. yüzyılın başından itibaren temiz su miktarı ve nüfus artışı ile gelen su ihtiyacı katlanarak birbirine yaklaşmaktadır. Bu değişimin 2040 yılında çakışacağı ve su krizinin başlayacağı öngörülmektedir [5].

Türkiye, 643 mm (yılda ortalama 501 km<sup>3</sup>) ile dünya yağış oranının (800 mm) altında olan bir ülkedir. Buna karşın su tüketimi her geçen gün artmaktadır. 1990 – 2010 yılları arasında Türkiye'deki su tüketim miktarının %40,5 oranında arttığı görülmüştür. 2040 yılına kadar bu tüketim miktarının 2 kat daha artacağı varsayılmaktadır [6].

### 1.1. Atık Su Yönetimi

Sürdürülebilir bir hayat için suyun doğru yönetimi kaçınılmaz bir gerçek olması ile bununla ilgili yasal mevzuatların etkinliği de artırılmaktadır. Değişen koşullar ve mevcutlar sonucunda yönetim sistemleri uygun olarak güncellenmektedir. Yönetim sistemlerinin sanayi ayağının sürdürülebilir yöntemler üzerinde etkisi büyüktür.

Dolayısıyla mevcut yönetim sistemlerini ve altyapısını hazırlamalıdır.

Söz konusu su yönetimi olduğunda yapılan çalışmaların suyun tüketiminin azaltılması ve geri kazanımı ön plana çıkmaktadır. Etkili bir su yönetim sisteminin performansı; para kaynağı, mühendislik, planlama, tasarım, planlı bakım ve yönetsel süreçlere bağlıdır [7].

Atık su; arıtılarak ya da arıtılmadan direkt ya da dolaylı olarak tekrar kullanılabilir. Geri kazanılan su tarım, sanayi üretimi ve evsel alanlarda değerlendirilebilmektedir. Özellikle sanayi kullanımında geri kazanılmış suyun kullanımı tercih edilebilir [8].

### 1.2. Atık Su Tanımlaması

Atık su terminolojisi üç ana başlıkta toplanmaktadır (Şekil 2). Bu başlıklar kaynakların ve içeriklerine göre sınıflandırılmaktadır. Tanımlamaları şu şekildedir [9]:

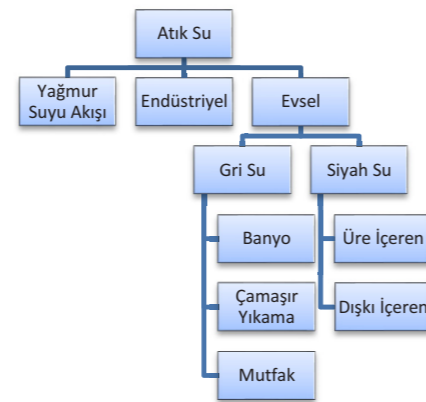
*Yağmur Suyu Akışı ile çıkan atık su;* sokaklar gibi açık alanlardan yağmur sonucunda kanalizasyon ve tahliye yoluyla toplanan su olarak tanımlanmaktadır.

*Endüstriyel atık su;* üretim faaliyetleri gösteren fabrikalardan işlemler süresinde çıkan (sıvı) su olarak tanımlanmaktadır.

*Evsel atık su;* kentsel atık su olarak da adlandırılmaktadır ve meskenlerden (örneğin ev), iş yerlerinden (örneğin otel), kuruluşlardan (örneğin üniversite) kullanım sonrası çıkan su olarak tanımlanmaktadır. Gri ve siyah olarak 2 aşamada değerlendirilir.

*Gri Su;* banyo, çamaşır yıkama ve mutfaktan kullanım sonrası çıkan su olarak tanımlanmaktadır.

*Siyah Su;* tuvaletlerden kullanım sonrası çıkan su olarak tanımlanmaktadır.



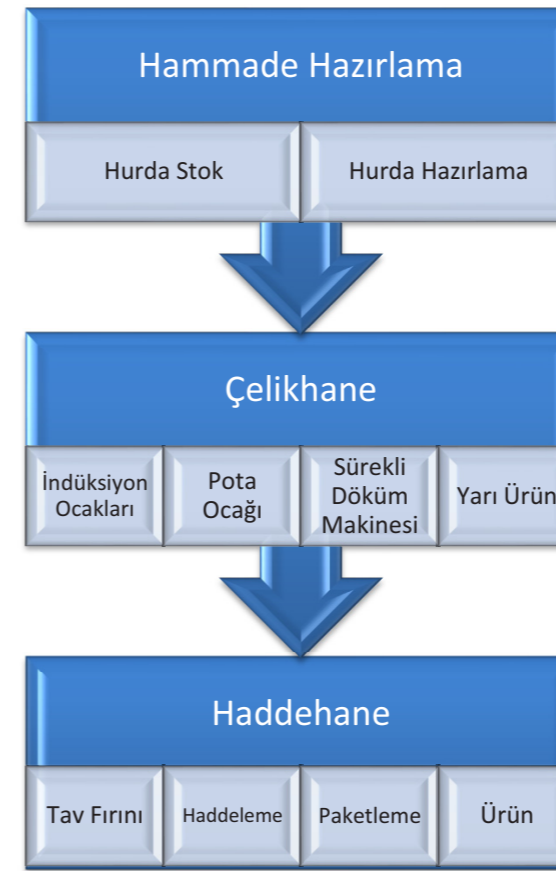
Şekil 2. Atık Su Çeşitleri [9]

Kaynağına göre atık sular farklı karakterler göstermektedir. Bazı durumlarda endüstriyel sular ile kentsel sular birlikte tahliye edilebilmektedir. Böyle durumlarda ön arıtma işlemi gerekebilir. Endüstriyel atık sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak değerlendirilerek kategorize edilmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ölçümler atık su içerisindeki kirleticiler belirlenmektedir [10].

### 1.3. Bilecik Demir Çelik

Yaklaşık 45 yıldır ülkemiz çelik üretim sektörüne metalik geri dönüşüm ve daha sonra nervürlü yapı çeliği pazarlaması alanlarında hizmet veren KILIÇLAR grubu, Bilecik Demir Çelik fabrikasını 2014 yılı Mart ayı itibari ile bünyesine dahil ederek çelik üretim değer zincirinde dikey entegrasyon vizyonunun eksik halkasını da tamamlamıştır.

Bilecik Demir Çelik (BDÇ), Bozüyük Organize Sanayi Bölgesi'nde (BORSAB) faaliyet göstermektedir. Yıllık 450000 ton üretim kapasitesi ile kütük ve nervürlü inşaat çeliği üretimi yapmaktadır.



Şekil 3. BDÇ Üretim Hattı

Çelikhane ve Haddehane olmak üzere 2 üretim bölümünden oluşmaktadır. Çelikhane; 3 set 30 tonluk indüksiyon ocağı, 1 adet pota ocağı ve 3 yollu sürekli döküm makinesinden oluşmaktadır. Haddehane; tav fırını, haddeleme ve paketlemeden oluşmaktadır. Yardımcı tesisler olarak toz tutma tesisi, 2 adet su tesisi ve atık geri kazanım tesisi ve diğer yan birimler faaliyet göstermektedir.

Yüksek metalik verimlilik, yüksek enerji verimliliği, minimum atık ve minimum çevre etkisi, geri dönüştürülebilir tüm atıkları prosesin bir girdisi haline getirerek kullanma, sıfır atık hedefini gerçekleştirmek ve çalışan güvenliği ve sağlığını geliştirmek sürdürülebilirlik vizyonumuzun alt öğeleridir.

### 1.4. Bilecik Demir Çelik Su Kullanımı

BDÇ sınırları içerisinde 3 farklı su çevrimi faaliyeti göstermektedir. Bunlardan ilki; sosyal ihtiyaçlar için kullanılan, kapalı devre içerisinde dönen ve şebeke suyu ile kaynağı sağlanan evsel su çevrimidir. İkincisi; çelikhane su tesisleri açık havuzlarından çıkarak kapalı devre ile çevrimi yapılan ve çelikhane içerisinde teçhizatların ve yarı ürünün soğutulmasında kullanılan çelikhane su çevrimidir. Üçüncü olarak; haddehane su tesisleri açık havuzlarından çıkarak kapalı devre ile çevrimi yapılan ve haddehane içerisinde teçhizatların ve ürünün soğutulmasında kullanılan haddehane su çevrimidir. Çelikhane ve haddehane su çevrimleri için su kaynakları akarsu, sondaj kuyusu, yağmur-kar suyu ve geri kazanımı sağlanan atık su olarak kullanılmaktadır.

Su girdisi ve çıktısı ile sistem içerisinde çevrimi gerçekleştirilen tüm su otomasyon sistemleri ile sürekli izlenmektedir. Su kullanımı günlük, aylık ve yıllık olarak raporlanarak toplam ve birim kullanım için iyileştirmeler yapılmaktadır.

Şebeke suyu kamusal kaynaklardan altyapı ile taşınmaktadır. Akarsu kaynaklı su tüketimi tanker ile BDÇ kontrolünde taşıma yoluyla sağlanmaktadır. Sondaj kuyuları BDÇ sınırları kontrolündeki bölgelerde açılmaktadır ve BDÇ altyapısı ile havuzlara transfer edilmektedir. Yağmur-kar suyu yine BDÇ sınırları içerisinde özel olarak tasarlanan çatılardan ve toplama alanlarından su tesislerine taşınmaktadır. Bildirinin konusu olan proje ile BORSAB bünyesinde toplanan çoğunluğu yüksek kirlilik içeren evsel atık su, BDÇ'nin üstlendiği altyapı ile tekrar kazanılarak kapalı sistem ile su tesisleri havuzlarına aktarılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen her 3 su çevriminin şeması EK-1'de görülebilir. Şema içerisinde su kaynaklarının hangi havuzlara aktarıldığı ve hangi birimlerde kullanıldığı gösterilmektedir. Buna ek olarak çevrimin hangi noktadan hangi noktaya ulaştığı da çizilmiştir.

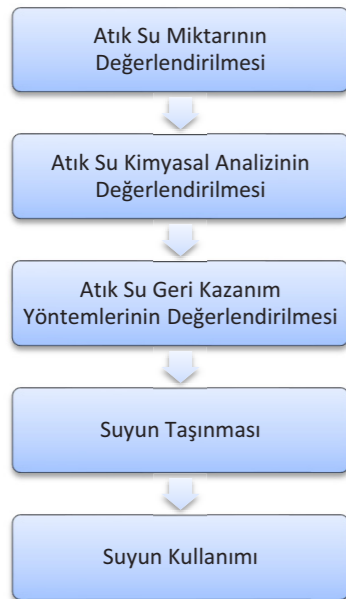
BDÇ'nin su kaybının %99,9'u açık havuzların üzerinden ve yarı ürün ile ürün soğutma sırasında sıcaklık değişimi kaynaklı buhardan oluşmaktadır. Geriye kalan %0,01'lik kısım ise suyun kimyasal olarak tekrar geri kazanımı sürecinde yumuşatma havuzlarında tuz vb. diğer yardımcıları ile kaybedilmektedir.

Sıvı olarak ortaya çıkan evsel su atıkları ise kapalı sistemler ile BORSAB atık su arıtma tesisine gönderilmektedir. BORSAB sınırlarındaki diğer tesislerden gelen atık su ile tekrar geri kazanımı sağlanarak BDÇ havuzlarına transfer edilmektedir. Tek bir çevrim içerisinde tekrar kazanılması ile herhangi bir atık sınıflandırmasına gerek duyulmadan geri kazanımı sağlanmaktadır.

BDÇ sürdürülebilirlik politikası gereğince tüm su kayıplarının azaltılması için çalışmalarına devam etmektedir.

## 2. Atık Suyun Geri Kazanımı

Süreç BDÇ sınırlarındaki atık suyun geri kazanılması ile başlatılmıştır. 2020 yılında BDÇ sınırlarından 123844 m<sup>3</sup> evsel atık su ortaya çıkmıştır ve bu miktar toplam tüketimin %56'sıdır. Evsel atık suyun izlemesi yapılarak geri kazanımı üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. BDÇ sınırlarından çıkan evsel atık su, BORSAB içerisinde faaliyet gösteren diğer tesislerin atık suları ile BORSAB atık su arıtma tesisine gönderilmektedir.



**Şekil 4.** Atık Suyun Geri Kazanım Süreci  
Suyun geri kazanımında 2 temel nokta değerlendirmeye alınmıştır. Bunlardan ilki suyun kimyasal olarak

saflaştırılmasıdır. Atık suyun arıtma tesisindeki giriş ve çıkış kimyasal analiz değerleri incelenmiştir. Arıtma çıkışındaki suyun tekrar kullanılabilmesi üzerinde yöntemler araştırılarak yumuşatma çalışmaları yapılmıştır. Ters ozmos yöntemi ile tekrar arıtılan su yumuşatmaya alınmıştır. Su yumuşatma tuzu ile yumuşatmaya uğratılan su BDÇ su tesislerinde tekrar kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Atık olarak toplanan suyun BORSAB arıtma girişi, BORSAB arıtma işlemi sonrası ve BDÇ yumuşatma havuzu çıkışı kimyasal analizleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Suyun geri kazanımında ikinci kısım ise suyun BORSAB atık su arıtma tesisinden BDÇ su tesislerine taşınması ve devreye alınması sürecidir. Bu süreçte BORSAB ile görüşmeler sağlanarak yatırım süreci için planlama yapılmıştır. Arıtma çıkışındaki su BDÇ'nin yatırımını üstlendiği altyapı ile BDÇ su tesislerine taşınmıştır.

**Çizelge 1.** BORSAB Atık Su Arıtma Tesisi Girişi, Çıkışı ve BDÇ Su Yumuşatma İşlemleri Sonrası Suyun Kimyasal İçerikleri

mg/L	Arıtma Girişi	Arıtma Çıkışı	Yumuşatma Çıkışı
Askıda Katı Madde	209,8	100,1	<10
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	154,0	48,8	<10
Sülfür	8,9	<0,1	<0,1
Amonyum Azotu	6,6	<0,1	<0,1
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	56,9	15,9	<2
Demir	0,2	<0,1	<0,1
Toplam Krom	0,11	<0,01	<0,01
pH	7,50	7,36	8,12

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Kimyasal ve fiziksel olarak BDÇ su çevrimlerinin tümüne uygun olarak taşıma süreci tamamlanan geri kazanım su BDÇ kaynağı olarak kullanıma alınmıştır. Böylece BDÇ sınırlarından çıkan evsel atık su, BORSAB sınırları içerisinde bulunan diğer tesislerden çıkan evsel atık su tekrar kullanıma kazandırılmıştır. Gri su ayak izi azaltılarak çevre kirliliğinin önüne geçilmiştir. Ek olarak doğal su kaynakları tüketilmeyerek mavi su ayak izi azaltılmıştır.

**Çizelge 2.** 2020 Yılı BDÇ Atık Su Durumu

Çıkan Evsel Atık Su (m <sup>3</sup> )	Geri Kazanılan Atık Su (m <sup>3</sup> )	Geri Kazanılan Suyun Toplam Tüketilen Suya Oranı (%)
123844	140472	63,3

2020 yılında toplam BDÇ sınırlarından çıkan 123844 m<sup>3</sup> evsel atık su dâhil, diğer BORSAB bünyesinde bulunan tesislerden gelen 16628 m<sup>3</sup> evsel atık su ile toplam 140472 m<sup>3</sup> atık su tekrar kazanılarak BDÇ su tesislerinde kullanılmıştır. Bu miktar 2020 yılında BDÇ bünyesinde kullanılan toplam su girdisinin %63,3'ünü oluşturmaktadır. Genel görünüm Çizelge 2'de görülmektedir.

## 4. Sonuç

Çalışma sonucunda 2020 yılında m<sup>3</sup> cinsinden BDÇ gri su ayak izi tamamen sıfırlanmıştır, mavi su ayak izi %63,3 azaltılmıştır. Toplam m<sup>3</sup> cinsinden su ayak izi %64,5 azaltılmıştır.

Kurumsal sınırlar içerisinde ilgili taraflar ile yapılan tüm çalışmalar ISO 14046 Su Ayak İzi standardı kapsamında akredite kuruluşlar tarafından denetlenerek onaylanmıştır. Çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla Bilecik Demir Çelik gri su ayak izini bertaraf ettiğini ve mavi su ayak izini 6,5 kat düşürdüğünü tescillemiştir.

## Referanslar

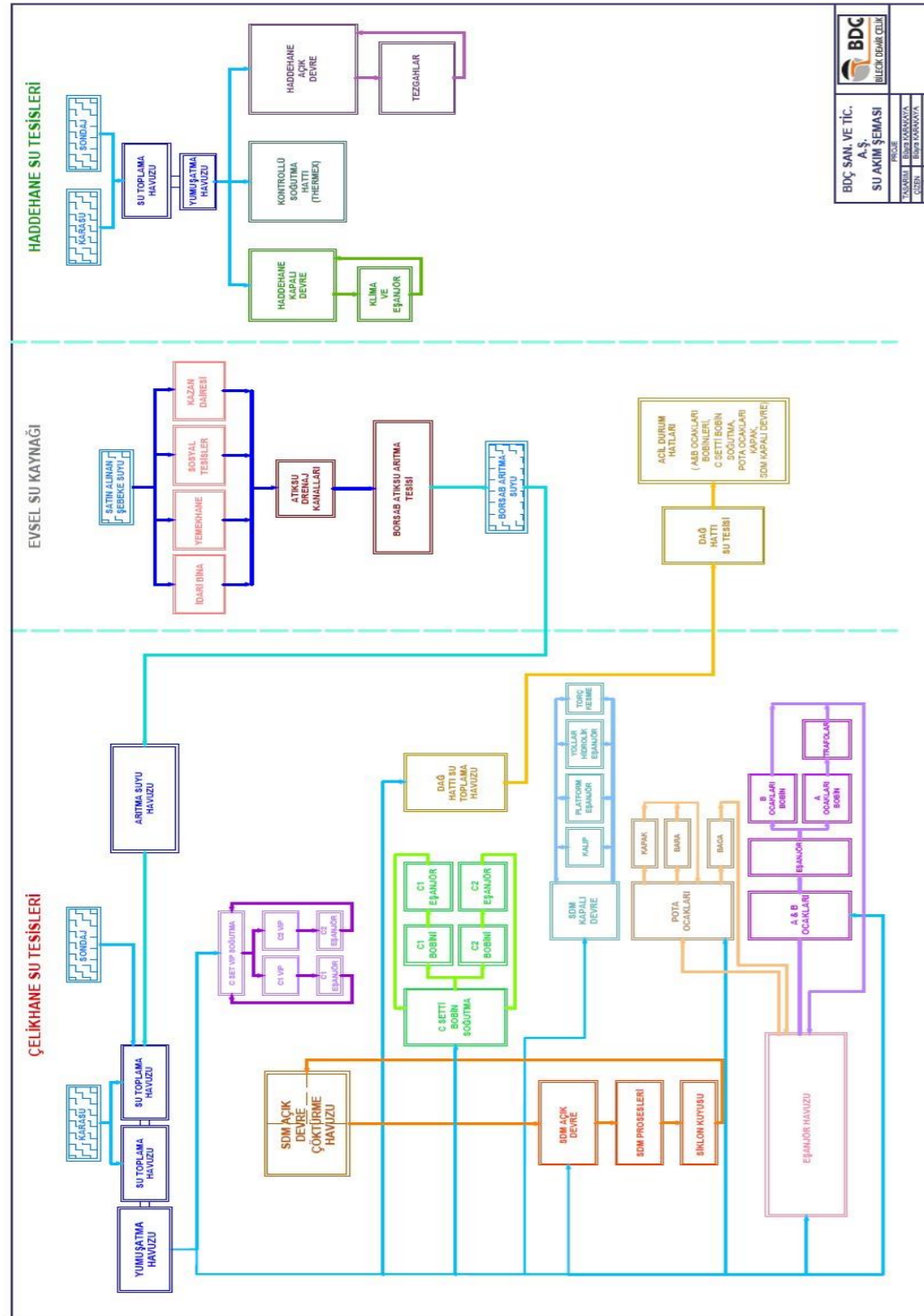
- [1] Pimentel D, Berger B, Filiberto D, et al. Water Resources, Agriculture, and the Environment. Ithaca (NY): New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. Environmental Biology Report. 2004;1-46.
- [2] UNDP (2012) The Millennium Development Goals Report 2012. United Nations Development Programme, New York.
- [3] Boretti, A., Rosa L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. Clean Water.
- [4] WWF (2012) Living Planet Report.
- [5] GBD (2017) Global Burden of Disease Study.
- [6] SKD (2014) Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar.
- [7] Charania SH. (2005). Improving Demand and Supply of Water, 5th edition, pp72 -90, McGraw Hill boks.
- [8] Kates R, Parris TM and Leiserowitz AA. (2005). What is sustainable development: goals, indicators, values and practice. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 47(3): 9-21.
- [9] Amoatey, Peace & Bani, Richard. (2011). Wastewater Management.
- [10] Peavy, S. H., Rowe, D. R. and Tchobanoglous, G., (1985) Environmental Engineering, International Edition MacGraw-Hill 207-322.

## Sinter Fabrikası Sizing ESP ve Discharge ESP Sulu Yol verme Sisteminden Orta Gerilim Sürücü Sistemine Dönüşümü

Sinter Plant Sizing ESP and Discharge ESP Conversion From Liquid Starting System to Medium Voltage Drive System



**Fatih DÜZLÜ, Cengiz ABUKAN, Volkan KIZILAY**  
İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. - Türkiye



### Abstract

Sintering is an agglomeration (size enlargement) process, and it is the enlargement of the size of powdered iron ores (0-10 mm.), which cannot be used directly in blast furnaces, by undergoing partial melting (semi-reduction) with the help of coke powder. The need to keep the environmental emissions in the sinter plant at the desired levels necessitates the continuous and efficient operation of the ESP (Electrostatic Dust Collection) systems. With the awareness of efficient use of resources, the continuity of energy saving and quality-oriented improvement studies in production lines is always one of the priority issues.

In this study, the conversion of Sizing ESP and Discharge ESP dust collection systems, which are the main components of the sinter plant, from "liquid start" technology to "medium voltage driver" technology, gains such as energy saving, process continuity and technology improvement have been achieved.

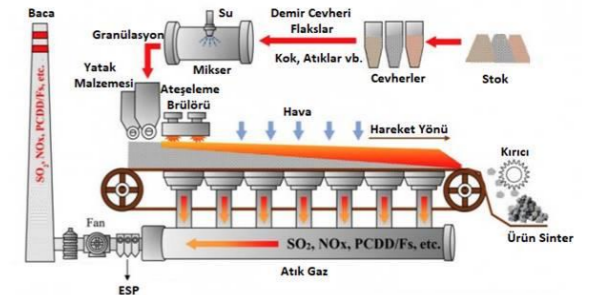
### Özet

Sinterleme bir aglomerasyon (boyut büyütme) işlemi olup, yüksek fırınlarda direkt olarak kullanılmayan toz demir cevherlerinin (0-10 mm.) kok tozu yardımıyla kısmi ergimeye (yarı indirgeme) uğrayarak boyutunun büyütülmesidir. Sinter fabrikasındaki çevre emisyonlarının istenilen seviyelerde tutulması ihtiyacı, ESP (Elektrostatik Toz Toplama) sistemlerinin sürekli ve verimli işletmesini zorunlu kılmaktadır. Kaynakların verimli kullanmanın bilinci ile üretim hatlarında enerji tasarrufu ve kalite odaklı iyileştirme çalışmalarının sürekliliği her zaman öncelikli konulardan olmaktadır.

Bu çalışmada, sinter fabrikasının ana bileşenlerinden olan Sizing ESP ve Discharge ESP toz toplama sistemlerinin "sulu yol verme" teknolojisinden "orta gerilim sürücü" teknolojisine dönüşümünün yapılması; enerji tasarrufu, proses devamlılığı ve teknolojinin iyileştirilmesi gibi kazanımlar sağlanmıştır.

### 1. Giriş

Demir cevherinin pik demire dönüştürülmesi sürecinde, cevherin Yüksek Fırınlarda işlemeye uygun hale gelebilmesi için "Sinterleme" işlemi yapılması gerekmektedir. Sinter işlemi; farklı türlerdeki cevherlerin kireçtaşı ve yakıtla ısı işlemi görecektir. Yüksek Fırın için gerekli fiziksel ve kimyasal özelliklere getirilmesidir. Bu işlem sırasında sinterlenecek olan harman bunkerler vasıtası ile sinter hattına serilir ve fırından geçirilerek ısı işlem uygulanır. Harmanda bulunan yakıt fırın vasıtası ile tutuşturulduğunda sinterleme işlemi başlar ve sinter hattının altından emiş yapılarak ısının üstten alta taşınması sağlanır. Sinterleme işlemi sırasında toz ve gazlar(CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>...) wind boxlar yoluyla filtrasyon ünitesine gider.



Şekil 1. Demir cevheri sinterleme işleminin şematik diyagramı. (1)

Mevcut durumda sinter tesislerinde tozsuzlaştırma amaçlı iki ana teknoloji kullanılmaktadır. Bu teknolojiler Elektrostatik Çöktürücüler (ESP-Electrostatic Precipitators) ve Torbalı Tip Kumaş filtrelerdir(FF-Fabric Filter). Genel olarak ESP'ler ile 40 mg / Nm<sup>3</sup>'ün altındaki emisyon seviyelerine ulaşılabilir.

Sinter üretim, soğutma ve boyutlandırma prosesleri esnasında oluşan ince ve kalın tozlar Elektrostatik Filtreler (ESP) vasıtası ile sistemden uzaklaştırılır. ESP sistemleri, plakalar arasında oluşturulan yüksek gerilim alanından faydalanarak, aralarından geçen havada bulunan yüklü

parçacıkların elektrostatik çekim kuvveti ile plakalar tarafından yakalanması/tutulması prensibi ile çalışır.

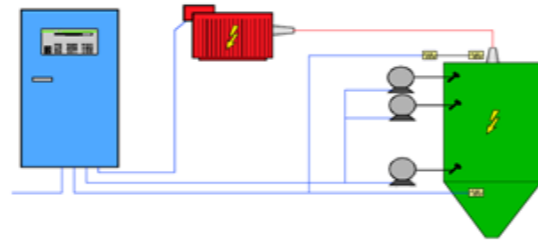
ESP sistemlerinde toz toplayıcı plakalar arasında hava akışının sağlanması ve proses tozlarının uzaklaştırılması amacı ile emiş fanları kullanılır. Tesis kapasitesine göre bu fanlar genel olarak orta gerilim olarak tercih edilir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Entegre demir-çelik tesisi olan İsdemir A.Ş.' de, ana ham maddeler olan demir cevheri ve kömür deniz yolu ve demir yolu vasıtasıyla gelir. Ham maddenin tesislere getirilmesiyle birlikte üretim süreci başlamış olur. Kömür, koklaşırma süreci için kok fabrikalarına; toz cevher ise yüksek fırınlarda kullanılabilmesi için sinterleşirmek amacıyla sinter fabrikasına iletilir. Kok fabrikası silosuna konveyör bant sistemi ile taşınan kömür, fırınlara şarj edilerek yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda koka dönüştürülür, böylelikle yüksek fırınların ihtiyacı olan kok üretilir. Toz cevher, demirli baca tozları ve tufal, sinter fabrikasında yüksek fırınların kullanılabilmesi için ebata getirilerek sinter üretilir ve konveyör bant sistemi ile yüksek fırınlara gönderilir. Yüksek fırınlar sıvı ham demir üretir. Sıvı ham demir üretimi için demir cevheri, sinter, pelet ve kok girdi olarak kullanılır. Üretilen sıvı ham demir cürufan arındırılarak torpidolara alınır. Torpidolardaki sıvı ham demir kükürt giderme tesislerinde kükürdü giderildikten sonra üretime girmek üzere çelikhaneye nakledilir. Çelikhanede; sıvı ham demir, hurda ve istenilen kaliteye göre farklılık gösteren çeşitli alaşım elementleri kullanılarak saf oksijen üfleme yöntemi ile sıvı ham demirdeki karbon oranı düşürülür, böylelikle sıvı ham demir, sıvı çeliğe dönüştürülür. Üretilen sıvı çelik sürekli döküm tesislerinde kalıplara kesintisiz olarak dökülüp, istenilen ebatlarda katılaştırılarak yarı mamuller olan slab veya kütük haline getirilir. Şekillendirilen çelik, slab ise sıcak haddehanelere; kütük ise kargal haddehanesine gönderilir. Slabtan yassı sıcak ürünler olan bobin ve levha, kütükten ise uzun ürün olan kargal üretilir. Tesisler üretilen ürünler deniz yolu, demir yolu ve kara yolu ile müşterilere ulaşır. (2)

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., Sinter ve Hammadde Manipulasyon Müdürlüğü bünyesinde; kırıcı ile dairesel soğutucu proseslerinin tozsuzlaştırılması için "Discharge ESP" ve ebatlandırma prosesinin tozsuzlaştırılması için "Sizing ESP" sistemleri bulunmaktadır.

ESP sistemleri genel olarak toplama elektrotları ve deşarj elektrotlarından oluşmaktadır. Toz toplama bu elektrotlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Elektrotların toz tutması HV pano, T/R grup, çekiçleme ve vibrasyon sistemleri ile sağlanır.



Şekil 2. ESP elektriksel prensip şeması

Sizing ESP, sinter fabrikasında elektrostatik toz toplama sistemlerinden kapasite olarak en düşük olanıdır. Temel olarak elek bölgelerinden emiş yapmaktadır. Bu bölgede nemli toz bulunmamaktadır. Bu da ESP açısından avantaj olarak değerlendirilmektedir. Discharge ESP, sinter fabrikasında elektrostatik toz toplama sistemlerinden kapasite olarak ikinci büyüklüktedir. Temel olarak sinter makinası kırıcı bölgesi ile dairesel soğutucu bölgelerinden emiş yapmaktadır. Dairesel soğutucu, gaz sıcaklığı açısından en yüksek bölgedir.

Sizing ESP fan, ESP ve tahliye hatlarından oluşmaktadır. Fan, sulu yol verme dirençleri ile sürülmektedir. Bu teknolojiye, motorun kalkış esnasında aşırı akımlar çekerek şebekeye zarar vermesinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Fan motoru sincap kafesli asenkron motordur. Motor gücü 1120 KW' dır. Discharge ESP fan, ESP ve tahliye hatlarından oluşmaktadır. Fan, sulu yol verme dirençleri ile sürülmektedir. Bu teknolojiye, motorun kalkış esnasında aşırı akımlar çekerek şebekeye zarar vermesinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Fan motoru sincap kafesli asenkron motordur. Motor gücü 1600 KW' dır.



Şekil 3. Sulu yol verme direnç panosu

Mevcut durumda her iki motor da sulu yol verme dirençleri ile çalıştırılmaktadır. Dolayısıyla yol verici ile akış kontrolü yapılamamaktadır. Her iki sistemde de akış kontrolü oransal akçuatörlü klapele ile sağlanmaktadır. ESP sisteminde, ESP'nin performansına göre debi ayarlanmaktadır. İşletme pratikleri incelendiğinde her iki sistemin de yaklaşık %50-60 klape açıklıklarında çalıştırıldığı görülmüştür.

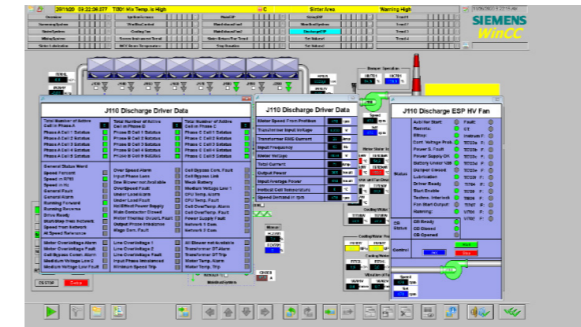
Fanların debi ve verim hesabı, fana ait hız-debi eğrileri kullanılarak belirlenmektedir. Fiili hız-debi korelasyonunu belirlemek amacıyla klape açıklık oranlarına göre harcanan gücün hesaplanması için işletme koşullarında muhtelif klape açıklık oranlarında harcanan güçler ölçülmüştür. Bu çalışma her iki sistem için de gerçekleştirilmiştir. Kazanç hesaplamalarının yapılabilmesi için parametreler şu şekilde alındı;

- Yıllık çalışma zamanı: 8150 saat – %55 klape açıklığına denk gelen frekansta çalışma,
- Yıllık arıza durumu: 360 saat – 10hz frekansta çalışma,
- Ölçümler ile belirlenen klape açıklık oranlarına göre harcanan güç ve debiler,

Bu veriler affinity kanunu formüllerinde kullanılmış ve teorik geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

## 2.1. Sulu Yol Verme Sisteminden Sürücü Sistemine Geçiş Saha Uygulamaları

Sistemimizle uyumlu olmasını sağlamak için muhtelif OG sürücüler detaylı olarak incelenmiştir. Temin edilecek sürücünün mevcut elektrik ve otomasyon sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilmesi için elektrik otomasyonu ara yüz projeleri oluşturulmuştur. Uygun sürücü teminlerinin yapılması sonrasında sürücü montajları ile OG/AG kablolarının montaj ve terminasyonları yapılmıştır. Sürücünün devreye alınabilmesi ve operatörler tarafından uzaktan kontrolünün yapılabilmesi için PLC yazılımları tamamlanmıştır. 6.3 KV Dağıtım merkezinde kesici/röle ayarları gerçekleştirilmiştir.



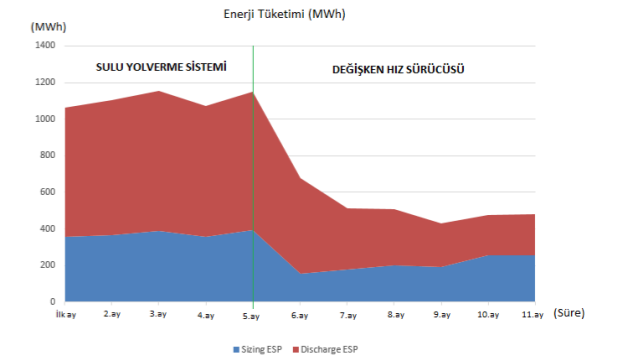
Şekil 4. Scada ekran görüntüsü



Şekil 5. Sürücü panosu

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Günlük enerji tüketim raporları dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı ilk ay ile son ay arasında enerji tüketim grafiği aşağıda verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi enerji sarfiyatları yaklaşık %50 oranında azalmıştır.

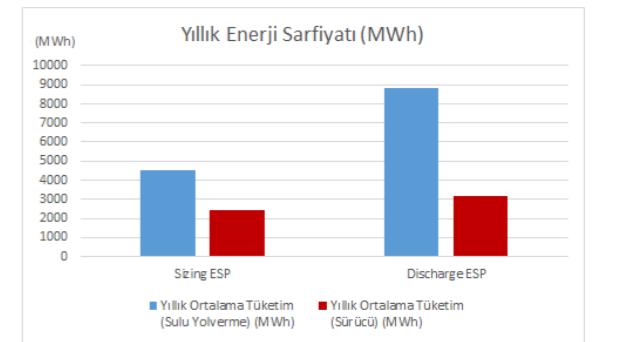


Şekil 6. Enerji tüketim

Sulu yol verme ve sürücülü çalışma durumları için enerji tüketimleri belirlenmiştir. Bu doğrultuda;

- Sizing ESP Yıllık Tasarruf: 2040 MWh
- Discharge ESP Yıllık Tasarruf: 5640 MWh

olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Yıllık tüketim karşılaştırılması

#### 4. Sonuç

Günümüzün en önemli konuları arasında enerji kaynaklarının verimli kullanılması yer almaktadır. Bu noktada enerji tasarrufu azımsanmayacak ölçüde bir fayda sağlamaktadır. Enerji tüketiminin mümkün olduğunca azaltılması ve endüstriyel işletmelerde de en ekonomik şekilde uygulanmasının önemi her geçen yıl artmaktadır. Demir-çelik tesislerinde önemli girdi parametrelerinden olan elektrik enerjisinin tasarruf edilmesi muhtelif işletme pratiklerinde alternatif yöntemlere geçişi zaruri hale getirmektedir.

Genel olarak tesislerde fan motorları kapasitenin üstünde bir güçte seçim yapılarak, gerekli hava miktarını ayarlamak amacıyla fanların emiş tarafında klape kullanımı yoluna gidilmektedir. Bazı durumlarda da proses gereği debi ihtiyaçları değişebilmektedir. Fan uygulamalarında gücün debinin veya dönme hızının (rpm veya Hz) küpü ile doğru orantılı olduğu bilinmekte olup değişken hız sürücülerini ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. İşletme uygulaması yapılan bu çalışmada fan motorlarının yol verme/sürüş sistemleri değiştirilerek yıllık yaklaşık %50 oranlarında tasarruf sağlanmıştır. Farklı endüstriyel uygulamalarda benzer yöntemlerin tercih edilmesi ile tasarruf imkanları genişletilebilir.

#### Referanslar

- [1] Y. Wang , L. Qian , Z.Yu, T. Chun, H. Long, X. Wu, J. Li Inhibition Behavior of PCDD/Fs Congeners by Addition of N-containing Compound in the Iron Ore Sintering, Wang et al., Aerosol and Air Quality Research, 20: 2568–2579, 2020.  
[2] <https://www.isdemir.com.tr/kurumsal/celigin-hikayesi/>

## Otomotivde Dövme Yöntemiyle Üretilen Ürünler için Yüksek Mukavemetli Yeni Alaşım Tasarımı ve Proses Rotası Geliştirilmesi

Development of New Continuously Cooled High Strength Steels For Forged Automotive Products



İ. İrfan AYHAN<sup>1</sup>, Emre ALAN<sup>1</sup>, Ebru SAĞ<sup>2</sup>, Hasan GÜLEÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ÇEMTAŞ Çelik, <sup>2</sup>Birinci Otomotiv - Türkiye

#### Abstract

In order to obtain higher mechanical properties, forged products are generally quenched and tempered after the forging process. Since the most of the forging companies do not have such a heat-treatment facility in their plants, quenching and tempering is applied by outsourcing the operation. In the study, a new high-strength steel design that can be produced with continuous cooling after forging without the need of Q&T heat treatment has been developed. Laboratory scaled productions were carried out based on the new designed chemical composition. It was found that the newly designed continuously cooled high strength steel is able to ensure the required mechanical properties of quenched and tempered 41Cr4 steel grade according to EN 10083-3 standard. By eliminating the need of additional heat treatment, it is observed that the new process route with newly designed steel alloy can provide advantages in terms of cost, energy and carbon emissions.

#### Özet

Dövme yöntemi ile üretilen motor aksama, güç aktarma organları gibi ürün gruplarında istenilen yüksek mukavemet değerlerini elde etmek için su verme ve temperleme [Q&T] ısıtım işlemi uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada, Q&T ısıtım işlemine gerek kalmadan dövme işlemi sonrasında sürekli soğutma ile üretilebilecek yüksek mukavemetli yeni bir çelik kompozisyonu geliştirilmiştir. Alaşım tasarımı çalışmaları neticesinde belirlenen kimyasal kompozisyon üzerinden laboratuvar ölçekli üretimler gerçekleştirilmiştir. Sürekli soğutma işlemi ile üretilen yeni çelik tasarımına ait mekanik testler incelendiğinde, otomotivde "çeki halkası" ürün grubunda kullanılan 41Cr4 çelik kalitesine ait akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama ve darbe dayanımı hedeflerinin sağlandığı belirlenmiştir. Yeni geliştirilen çelik tasarımı ve proses rotasının ilave ısıtım işlem gereksinimini ortadan kaldırmasıyla maliyet, enerji ve karbon emisyonları konularında avantaj sağlanabileceği düşünülmektedir.

#### 1. Giriş

Otomotiv sektöründe kullanılan birçok ürün dövme yöntemiyle üretilmektedir. Dövme işleminde yüksek sıcaklıklara ısıtılan çelik açık veya kapalı kalıplar kullanılarak sıcak şekillendirilmektedir. Genellikle dövme işleminden sonra yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi amacıyla su verme ve temperleme [Q&T] ısıtım işlemi uygulanmaktadır. Q&T ısıtım işlemi, akma ve çekme mukavemeti ile birlikte uzama ve tokluk değerlerini de arttıran iki aşamalı bir ısıtım işlemidir. Dövme ile üretim yapan firmaların birçoğunda belirtilen prosesin uygulanabileceği bir ısıtım tesisi bulunmadığından Q&T işlemi firma dışından hizmet alımı olarak gerçekleştirilmektedir. Böyle bir üretim rotası ise ısıtım işlem, lojistik ve diğer süreçler nedeniyle ek işletme maliyetlerini de beraberinde getirmektedir.

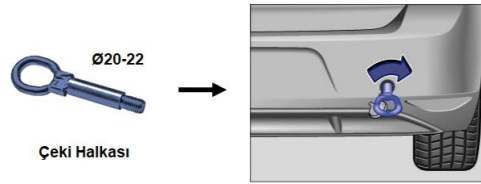
Dövme operasyonundan sonra konveyör bantlarla ilerleyen ürünlerin soğutma işlemleri soğutma tünellerinde gerçekleştirilmektedir. Uygun kimyasal kompozisyona sahip çeliklerde gerekli soğutma rejimlerinin sağlanması durumunda istenilen yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Böylece ilave bir yatırım ya da ısıtım işlemi ihtiyacı olmadan düşük maliyetlerde yüksek mukavemetli çeliklerin üretilme potansiyeli oluşmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe çeki halkası üretiminde sıklıkla kullanılan 41Cr4 çelik kalitesinin yeni bir alaşım tasarımı ile ikamesi incelenmiştir. Öncelikli olarak geliştirilecek çelik kalitesine uygulanabilecek optimum soğutma rejiminin belirlenmesi amacıyla soğutma tünellerinde ön çalışmalar yapılmıştır. Alaşım tasarımı çalışmalarında JMatPro v.10.2 yazılımı kullanılarak termo-mekanik ve termo-kimyasal incelemeler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen alaşım tasarımı laboratuvar ölçekli olarak 10 kg kapasiteli vakum indüksiyon ergitme sistemi ile üretilmiştir. Laboratuvar ölçekli üretimlere sıcak deformasyon ve tavlama işlemleri ardından sürekli soğutma uygulanmıştır.

Mekanik test sonuçları incelendiğinde yeni geliştirilen çeliğin sürekli soğutma işlemi sonrasında EN 10083-3 [1] standardına göre su verilmiş ve temperlenmiş 41Cr4 çelik kalitesinin istenilen mekanik özelliklerini sağlayabildiği tespit edilmiştir.

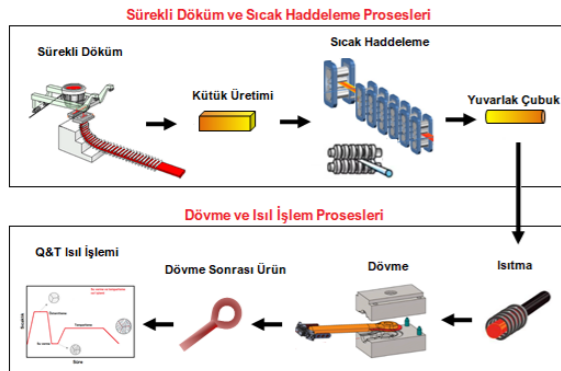
## 2. Deneysel Çalışmalar

Endüstriyel ölçekteki proses rotası, yıllık üretim miktarı ve ürün tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak çalışmada "çeki halkası" parçasına ait parametrelerin hedef olarak belirlenmesi uygun görülmüştür. Şekil 1'de çeki halkasına ait ürün görseli paylaşılmıştır.



Şekil 1. Çeki halkası görseli ve otomobilde montaj örneği.

Çeki halkası endüstriyel olarak Şekil 2'de yer alan sürekli döküm, sıcak haddeleme, dövme ve ısıtma proses rotası ile üretilmektedir.



Şekil 2. Çeki halkası endüstriyel üretim rotası.

41Cr4 çelik kalitesi Q&T ısıtma işlemi olarak çeki halkası ürün grubunda sıklıkla kullanılmaktadır. Tablo 1'de 41Cr4 kalitesine ait kimyasal kompozisyon bilgileri yer almaktadır.

Tablo 1. EN 10083-3 standardına göre 41Cr4 çelik kalitesi kimyasal kompozisyonu.

41Cr4 Çelik Kalitesi Kimyasal Kompozisyonu [%]						
	C	Si	Mn	P	S	Cr
Min.	0,38	-	0,60	-	-	0,90
Maks.	0,45	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20

EN 10083-3 standardına göre çeki halkası parça kesit kalınlığına uygun 41Cr4 çelik kalitesinin ısıtma işlemi sonrası beklenen mekanik özellikleri Tablo 2'de paylaşılmıştır.

Tablo 2. EN 10083-3 standardında yer alan 41Cr4 kalitesi mekanik özellikleri [16mm < d [çap] < 40mm].

	Akma Muk. [MPa]	Çekme Muk. [MPa]	Uzama [%]	Kesit Daralması [%]	Darbe Dayanımı* [J]
Min.	660	900	12	35	35
Maks.	-	1100	-	-	-

\* 2 mm V çentik ile oda sıcaklığında.

Dövme işlemi sonrasında konveyör banda aktarılan çeki halkaları Şekil 3'te yer alan tünelden geçerek soğutulmaktadır. İstenilen soğutma rejiminin elde edilebilmesi için gerekli durumlarda soğutma tüneline bulunan fanlar kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada laboratuvar ölçekli üretimlerde kullanılmak üzere en uygun soğutma rejiminin belirlenmesi için denemeler yapılmıştır. Bu amaçla endüstriyel dövme üretim hattında farklı fan soğutma kapasitelerinde çeki halkalarının sıcaklıkları ölçülerek soğutma rejimleri belirlenmiştir.

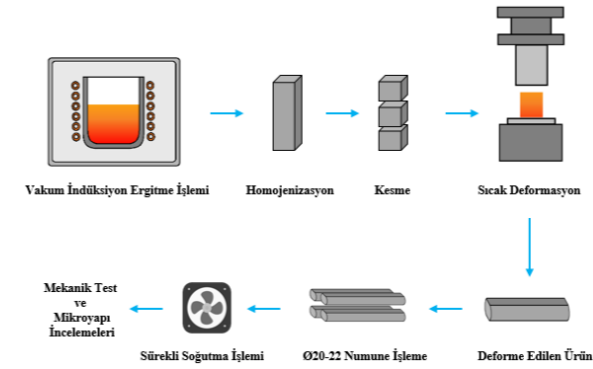


Şekil 3. Dövme prosesinde kullanılan soğutma sistemi.

Hedef mekanik özelliklerin elde edilebileceği farklı alaşım tasarımlarına ait sürekli soğutma eğrileri [CCT] hesaplamalı termo-kimyasal ve termo-mekanik yazılımı olan JMatPro v.10.2 ile elde edilmiştir. İncelemeler sonrasında belirlenen alaşım tasarımının üretiminde endüstriyel üretim parametreleri temel alınarak oluşturulan Şekil 4'teki laboratuvar ölçekli üretim rotası takip edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli üretimlerde 10 kg kapasiteli vakum indüksiyon ergitme sistemi kullanılarak 80x80 mm kare kesitli, 200 mm yüksekliğe sahip dökümler elde edilmiştir. Döküm ürünlerine 1200 °C'de 2 saat homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon sonrasında üretimler 65 mm yükseklikte kesilmiştir. 80x80x65 mm ebatlarındaki üretimlerden sıcak deformasyon işlemleri sonrasında 50x50x165 mm ebatlarında numuneler elde edilmiştir. Deforme edilen numunelerden çeki halkası ölçülerine uygun olacak şekilde Ø20-22 mm numuneler işlenmiştir. 1150 °C dövme sıcaklığında tavlama işlemi uygulanan numuneler

daha önceden belirlenen soğutma hızlarında sürekli soğutulmuştur.



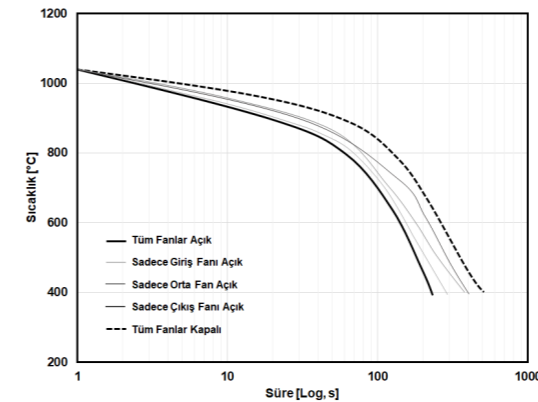
Şekil 4. Laboratuvar ölçekli üretim rotası.

Mikroyapısal incelemelerde Keyence VHX-6000 stereo mikroskop ve Clemex Vision PE görüntü analiz entegrasyonuna sahip Nikon Epihot 200 optik mikroskop kullanılmıştır. Üretilen numunelerin mikroyapıları LePera ve %12 sodyum metabisülfid kullanılarak renkli dağlama yöntemi ile incelenmiştir.

Laboratuvar ölçekli üretimlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme ve çentik darbe dayanımı testleri yapılmıştır. Çekme testi, DIN 50125 standartlarına uygun hazırlanan numuneler ile ZwickRoell Z400 cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe dayanım testi ise 2 mm V çentik ile hazırlanan numunelere RoellAmsler RKP 450 test cihazı ile oda sıcaklığında uygulanmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

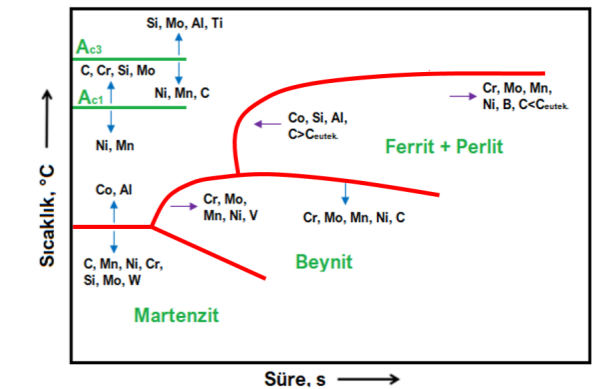
Endüstriyel ölçekte dövme işlemi sonrası farklı fan soğutmalarında çeki halkalarında elde edilen soğutma hızları Şekil 5'te paylaşılmıştır.



Şekil 5. Çeki halkası endüstriyel üretiminde farklı fan hızlarında elde edilen soğutma rejimleri.

Soğutma tüneline ilerleyen dövme ürünlerdeki soğutma rejimi konveyör hızına ve kullanılan fan kapasitelerine göre değişebilmektedir. Düşük karbonlu çeliklere uygulanan sürekli soğutma işlemlerinde soğutma hızının artmasıyla birlikte mekanik özelliklerinde arttığı bilinmektedir [2-4]. Bu durumda soğutma hızını arttırılabilmek için konveyör hızının düşürülmesi ve fan kullanılarak soğutma kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Konveyör bant hızının azaltılması üretim miktarını da azaltmaktadır. Bu nedenle konveyör hızında değişiklik yapılmamıştır ve yapılan çalışmalarda soğutma tüneline yer alan üç fanın da tam kapasite çalıştığı koşullar tercih edilmiştir.

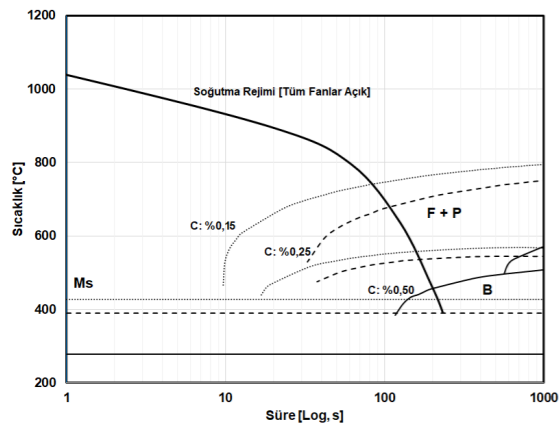
Alaşım tasarımları yapılırken belirlenen soğutma rejiminin farklı alaşım ilavelerinde CCT diyagramına göre oluşturacağı mikroyapısal değişikliklere ve mekanik özelliklere etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 6'da alaşım ilavelerinin CCT diyagramına genel etkileri paylaşılmıştır.



Şekil 6. Çeliğe ilave edilen alaşım elementlerinin sürekli soğutma eğrilerine etkileri [5].

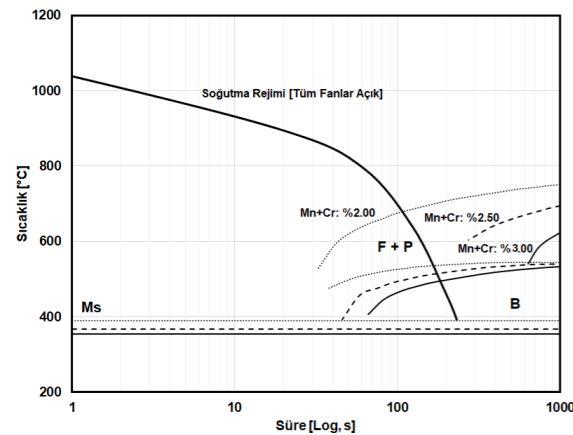
Çelikte temel alaşım elementi olan karbonun düşük miktarda ilavelerinde ferrit ya da kaba beynit mikroyapıları oluşurken mukavemet azalmaktadır. Karbon ilavesinin artması ise darbe dayanım enerjisini önemli ölçüde azaltmaktadır. Farklı seviyedeki karbon değerlerinin CCT diyagramında ferrit, beynit ve martenzit dönüşüm parametrelerine etkileri Şekil 7'de paylaşılmıştır. Tablo 2'de yer alan darbe dayanım şartını sağlayabilecek ve nispeten sertliği daha düşük olan ferrit fazını sürekli soğutma sonrası içermeyecek bir mikroyapı etmek amacıyla karbon içeriği %0.15-0.25 aralığında tercih edilmiştir.





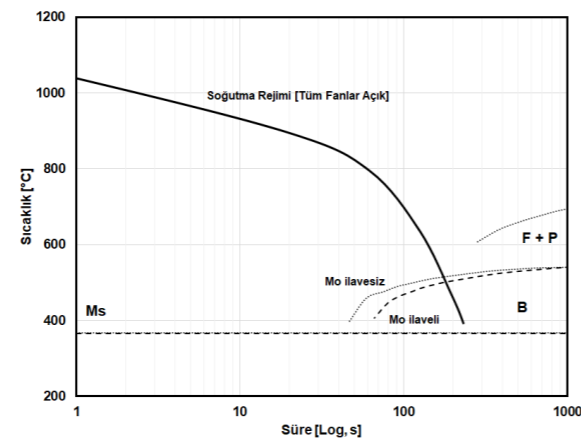
Şekil 7. Farklı karbon ilave miktarlarına göre JMatPro ile elde edilen CCT eğrileri.

Krom ve mangan, katı eriyik mekanizması ile mukavemet artırıcı temel alaşım elementlerindedir. Sürekli soğuma ile üretilen düşük karbonlu çeliklerde silisyum ilavesi ise genellikle karbür içermeyen beynitik bir mikroyapının elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Literatürde bu amaç için minimum %1.5 silisyum ilavesi gerektiği belirtilmektedir [6, 7]. Yapılacak çalışmada ise proje hedeflerinde yer alan tokluk-mukavemet dengesinin sağlanması ve talaşlı imalat uygulanan üründe işleme performansının artan sertlik değerleri ile olumsuz etkilenmemesi amacıyla silisyum ilavesinin %0,40 ile sınırlandırılmasına karar verilmiştir. Farklı Mn+Cr ilavelerinde belirlenen soğuma hızına göre CCT eğrilerinin değişimi Şekil 8'de paylaşılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde Mn+Cr içeriğinin değerinin %2.50-3.00 aralığında seçilmesine karar verilmiştir.

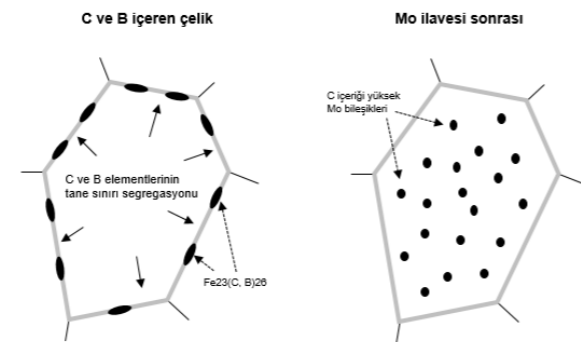


Şekil 8. Farklı Mn+Cr ilave miktarlarına göre JMatPro ile elde edilen CCT eğrileri.

Titanyum, niyobyum ve vanadyum mikroalaşım elementlerinin oluşturduğu karbür, nitrür ya da karbonitrür çöktürücü çelikte östenit tane büyümesini sınırlayarak mukavemet artırıcı rol oynamaktadırlar [8, 9]. Sürekli soğutma ile üretilen düşük karbonlu çeliklerde bor ilavesi ferrit oluşumunu öteleyerek çeliğin mekanik özelliklerine katkı sağlamaktadır [10]. Güçlü bir nitrür yapıcı olan bor ilavesinde BN oluşumunu engellemek amacıyla genellikle çeliğe titanyum ilavesi de yapılmaktadır. Molibden ilavesi ise CCT diyagramında ferrit ve perlit dönüşümünü ötelemektedir. Ayrıca niyobyum ve bor içeren düşük karbonlu çeliklerde molibden ilavesi, tane sınırı segregasyonunu engelleyerek tokluğun artmasına da yardımcı olmaktadır. Şekil 9(a)'da molibden ilavesi ile CCT eğrilerinde gerçekleşen değişim gösterilmektedir. Şekil 9(b)'de ise tane sınırlarında bulunan bor ve karbonun bileşiklerini oluşturması şematik olarak yer almaktadır.



Şekil 9(a). Molibden ilavesi yapılan ve yapılmayan durumlar için JMatPro ile elde edilen CCT eğrileri.



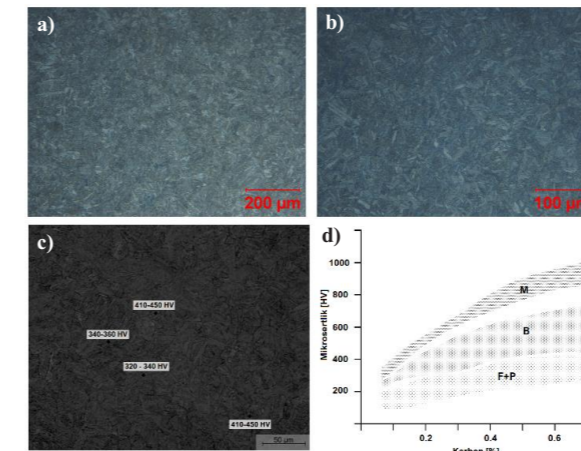
Şekil 9(b). Mo ilavesinin tane sınırı segregasyonuna etkisi [11].

Yapılan değerlendirmeler neticesinde laboratuvar ölçekli üretimlerin Tablo 3'te paylaşılan kompozisyon aralıklarına göre üretilmesine karar verilmiştir.

Tablo 3. Alaşım tasarımı çalışması sonucunda belirlenen çelik kimyasal kompozisyonu.

Alaşım Tasarımında Belirlenen Çelik Kompozisyonu [%]						
	C	Si	Mn + Cr	B	Ti	Diğer
Min.	0.15	-	2.5	0.0010	0.0150	V, Nb, Mo
Maks.	0.25	0,40	3.0	0.0030	0.0350	

Tablo 3'te yer alan alaşım tasarımına göre ve belirlenen soğuma rejiminde sürekli soğutulmuş üretilen numunelere ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 10'da paylaşılmıştır. Renkli dağlama ve mikrosertlik ölçüm sonuçlarına göre mikroyapının ağırlıklı olarak beynitik ile birlikte martenzit ve martenzit-östenit [M/A] içerdiği belirlenmiştir.



Şekil 10. LePera ve %12 sodyum metabisülfid ile dağlama sonrası mikroyapı görüntüleri a) 100X, b) 200X büyütme [B: koyu ve mavi, M: açık kahverengi, M/A: beyaz], c) mikro sertlik ölçümleri, d) mikroyapılara göre mikrosertlik ölçüm referansları [12].

Tablo 4. Mekanik test sonuçları ve hedef değerlerle karşılaştırılması.

	Akma Muk. [MPa]	Çekme Muk. [MPa]	Uzama [%]	Kesit Daralması [%]	Darbe Dayanımı [J]*
41Cr4 [EN 10083-3]	min. 660	900-1100	min. 12	min. 35	min. 35
Yeni Çelik Tasarımı	764,6	1085,3	12,2	39,3	35,8

\* 2 mm V çentik ile oda sıcaklığında.

Numunelerin mekanik test sonuçlarına ait ortalama değerler Q&T ısıtılı işlemli 41Cr4 hedef değerleri ile Tablo 4'te karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde istenilen mukavemet ve oda sıcaklığındaki darbe dayanım enerjisi değerlerinin sürekli soğutma ile üretilen düşük karbonlu yeni çelik kalitesi ile sağlandığı gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe dövme ile üretilen ürün gruplarında ilave bir ısıtılı işlem gerektirmeden kullanılacak yüksek mukavemetli düşük karbonlu yeni bir alaşım tasarımı ve proses rotası geliştirilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda sürekli soğuma işlemi ile beynitik ağırlıklı mikroyapıda elde edilen üretimlerin 41Cr4 kalitesine ait Q&T ısıtılı işlemli mekanik test hedeflerini sağladığı gözlemlenmiştir. Geliştirilen yeni alaşım tasarımı ile birlikte ilave bir yatırım ihtiyacı gerektirmeden dövme işlemi sonrası istenilen yüksek mukavemet değerlerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Böylece, ısıtılı işlem firmalarından hizmet alımı ile yapılan Q&T ısıtılı işlemine ait operasyonel ve lojistik maliyetlerinin ortadan kaldırılma imkânı oluşmaktadır. Ayrıca Q&T ısıtılı işlemli bir üretime göre daha az sayıda operasyon ve daha kısa sürede üretim imkânı sağlayan proses rotası ile enerji tüketimi ve karbon emisyonları da azaltılabilmektedir.

#### Teşekkür

Çalışmalara katkılarından dolayı Prof. Dr. Bilgehan Ögel ve Prof. Dr. Deniz Uzunsoy'a teşekkürlerimizi sunarız.

#### Referanslar

- [1] DIN EN 10083-3: Steels for Quenching and Tempering—Part 3: Technical Delivery Conditions for Alloy Steels, German Version EN 10083-3: 2006.
- [2] Smith, Y. E., & Siebert, C. A. (1971). Continuous cooling transformation kinetics of thermomechanically worked low-carbon austenite. Metallurgical Transactions, 2(6), 1711-1725.
- [3] Yakubtsov, I. A., & Boyd, J. D. (2001). Bainite transformation during continuous cooling of low carbon microalloyed steel. Materials science and technology, 17(3), 296-301.
- [4] Abdullah, S. N., Sazali, N., & Jamaludin, A. S. (2020). Study of low carbon steel in rapid cooling process: A short review. Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology, 4, 52-59.
- [5] Kawulok, R., Schindler, I., Sojka, J., Kawulok, P., Opěla, P., Pindor, L., & Ševčák, V. (2020). Effect of strain on transformation diagrams of 100Cr6 steel. Crystals, 10(4), 326.

[6] Sharma, S., Sangal, S., & Mondal, K. (2011). Development of new high-strength carbide-free bainitic steels. Metallurgical and Materials transactions A, 42(13), 3921-3933.

[7] L.C. Chang and H.K.D.H. Bhadeshia: Mater. Sci. Eng. A, 1994, vol. 184, pp. L17-L19.

[8] Jung, J. G., Park, J. S., Kim, J., & Lee, Y. K. (2011). Carbide precipitation kinetics in austenite of a Nb-Ti-V microalloyed steel. Materials Science and Engineering: A, 528(16-17), 5529-5535.

[9] R.D.K. Misra, K.K. Tenneti, G.C. Weatherly, G. Tither, Metall. Mater. Trans. A 34A (2003) 2341-2351.

[10] Altamirano, G., Mejía, I., Hernández-Expósito, A., & Cabrera, J. M. (2012). Effect of boron on the continuous cooling transformation kinetics in a low carbon advanced ultra-high strength steel (A-UHSS). MRS Online Proceedings Library (OPL), 1485, 83-88.

[11] Bordereau, V. (2015). Quantitative relationships between chemical composition, microstructure and mechanical properties for bainitic steels (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris).

[12] Turner, F., & Gill, O. European Steel Design Education Programme (ESDEP): Architecture in Steel.

## Gaz Yakma Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Yeni Teknolojiler

### Energy Efficiency and New Technologies for Gas Combustion Systems



Hülya YILDIZ

Focus Endüstri - Türkiye

#### Abstract

This paper has been prepared with the aim of examining the savings and other benefits of usage of regenerative combustion systems within the scope of energy efficiency applications in gas combustion systems in iron&steel industry.

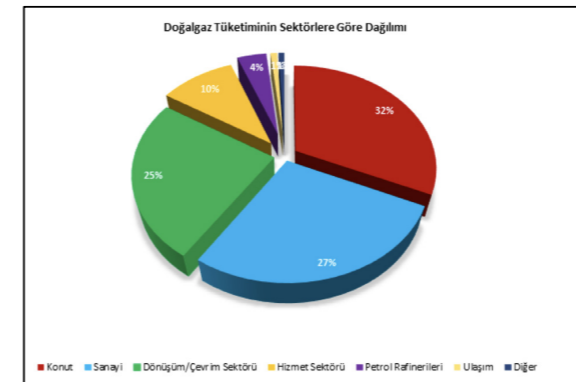
#### Özet

İş bu bildiri, demir çelik endüstrisi gaz yakma sistemlerinde enerji verimliliği uygulamaları kapsamında, rejeneratif yakma sistemlerinin kullanımı ile sağlanabilecek tasarruf ve diğer faydaların incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

#### 1. Giriş

Doğalgaz; endüstri tesisleri ve konutlar için vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Kullanım kolaylığı ve ucuz olması bakımından sanayi tesislerinde tercih edilen yakıtların başında gelmektedir.

Türkiye'de 2019 yılında yaklaşık 45,3 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz tüketilmiş ve toplam 483 milyon m<sup>3</sup> üretim yapılmıştır. Enerji Bakanlığı tarafından yayımlanan 2019 yılı Türkiye doğalgaz tüketim değerlerine bakıldığında, sanayi sektörü doğalgaz tüketiminde 2. sırada yer almaktadır.



Şekil 1. Doğalgaz Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı

Küresel sıralamada Türkiye'nin ilk 10 içerisinde yer aldığı çelik ve çimento üretimi, ülke sanayi enerji talebinin önemli bir payını temsil etmektedir.

Dünya Ham Çelik Üretimi (000 ton)					
SteelData	2019-1ay	2020-1ay	% değişim 20/19	% pay 20	Fark
1. Çin	78.594	84.269	7,2	54,6	5.675
2. Hindistan	9.591	9.288	-3,2	6,0	-303
3. Japonya	8.142	8.244	1,3	5,3	102
4. ABD	7.518	7.707	2,5	5,0	189
5. Rusya	6.256	6.000	-4,1	3,9	-256
6. G. Kore	6.252	5.753	-8,0	3,7	-499
7. Türkiye	2.569	3.014	17,3	2,0	445
8. İran	1.971	2.895	46,9	1,9	924
9. Almanya	3.455	2.845	-17,7	1,8	-610
11. Brezilya	3.015	2.680	-11,1	1,7	-335
10. İtalya	1.971	1.874	-4,9	1,2	-97
12. Ukrayna	1.850	1.843	-0,4	1,2	-7
13. Tayvan	1.990	1.700	-14,6	1,1	-290
14. Vietnam	1.746	1.530	-12,4	1,0	-216
15. Meksika	1.636	1.375	-16,0	0,9	-261
<b>Dünya</b>	<b>151.228</b>	<b>154.436</b>	<b>2,1</b>	<b>100,0</b>	<b>3.208</b>

Kaynak: Dünya Çelik Birliği / Düzenleme: SteelData

Şekil 2. Ham Çelik Üretimine Ülkelere Göre Dağılımı

Doğalgaz şebekeleri, Türkiye nüfusunun yaklaşık üçte ikisini temsil eden yaklaşık 53 milyon aktif kullanıcı başta olmak üzere, diğer sektörlerdeki taleple birlikte yıllık ortalama toplam 50 milyar metreküp (m<sup>3</sup>) doğal gazı ülkenin farklı noktalarına taşımaktadır.

Mevcut enerji tüketim değerleri üzerinde yapılan değerlendirmelere göre, Türkiye imalat sanayinde 2,1 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep), karayolu yük taşımacılığında 1,8 Mtep ve doğal gaz/hidrojen karışımı için 0,6 Mtep olarak toplamda 4,6 Mtep seviyesinde yeşil hidrojen potansiyeli olup, Türkiye'nin 2018'deki toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %5'i yeşil hidrojen ile ikame edilebilir. Bu miktarın üretimi için toplam en az 12,1 gigavatlık (GW) kurulu elektrolizör gücü gerekecektir. Elektroliz için gerekli olan kurulu elektrik gücü de tahmini olarak en az 36,3 GW olacağı göz ardı edilmemelidir. Toplam yatırım ihtiyacının ise en az 45,4 milyar ABD\$ seviyesinde olacağı hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere mevcut durumda kullanılan fosil yakıtları ikame edecek düşük karbonlu çözümler sınırlı ve şu anda

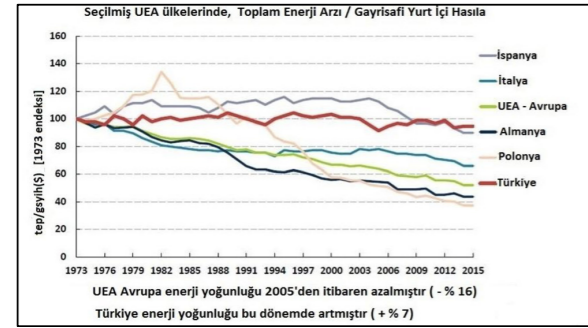
maliyetli olduğundan, bu alanların her biri Türkiye'nin enerji dönüşümünde zorluk teşkil etmektedir.

Tüm bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, endüstriyel tesislerde hala doğalgaz kullanımı büyük önem teşkil etmektedir. Öte yandan doğalgaza ulaşımın gittikçe zorlaşması ve maliyetlerin yükselmesi enerji kullanımında tasarrufa gitmeyi zorunlu hale getirmektedir.

### 1.1. Enerji Kaynaklarının Sanayide Kullanımı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sanayide %30 , konutlarda %46, ticari binalarda ise %20'lik enerji tasarrufu potansiyeli olduğunu beyan etmektedir. Bu ölçüde bir tasarruf potansiyeli enerjisinin büyük kısmını ithal eden ülkemiz için çok önemlidir.

Türkiye'nin 2012-2023 Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde, 2023 yılına kadar GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedefi yer almaktadır.



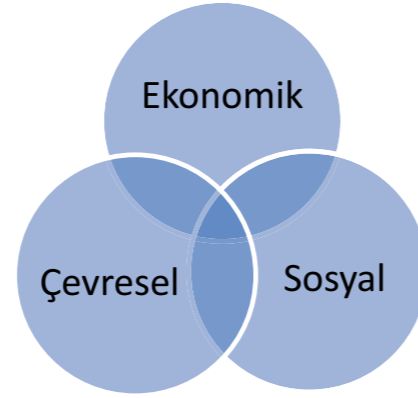
Şekil 3. Toplam Enerji Arzı/ Gayrisafi Yurtiçi Hasıla

### 1.2. Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Üretim

Avrupa Yeşil mutabakatı (AYM), 2050 yılına kadar Avrupa Birliği (AB) 'ni net sera gazı emisyonlarının olmadığı, kaynak açısından verimli ve rekabetçi bir yapıya sahip adil ve müreffeh bir topluma dönüştürme stratejisidir.

Avrupa Komisyonu, AYM planı ile salt bir çevre stratejisi değil, ülkemizi yakından ilgilendiren yeni bir uluslararası ticaret sistemi ve iş bölümünü kurgulamaktadır.

Bu doğrultuda AB karbon kaçacağı azaltmak adına ticarete yeni vergiler ve tarife dışı engeller ile örülmüş bir sistem oluşturmak üzerine çalışmalarını sürdürmektedir.



Şekil 4. Toplam Enerji Arzı/ Gayrisafi Yurtiçi Hasıla

Ana Metaller Sanayi, dünya ekonomisinde büyük bir paya sahiptir ve en yoğun enerji tüketen imalat sanayilerinden biridir.

Çelik üretiminin büyük kısmı yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiğinden, enerji yoğun bir faaliyet kabul edilir.

Üretim prosesinde, demir cevherini indirgeyici madde olarak karbon kullanılır ve metalik demire dönüştürülür.

Dolayısı ile doğadaki CO2 salımlarının artmasında önemli bir role sahiptir. CO2 salımlarından kaynaklanan küresel ısınma nedeniyle, çelik üretiminin yaratacağı olumsuz çevresel etkilerin azaltılması yönünde küresel boyutta çalışmalar yürütülmektedir.

Çevresel Yönetim Sisteminin konu başlıklarından birisi de Üretimde Enerji Verimliliği nin desteklenmesidir.

Bu kapsamda üretim süreçlerinde enerji verimliliği uygulamaları artırılarak enerji tüketim miktarlarının azaltılması amaçlanmaktadır.

### 1.3. Enerji Verimliliği Nedir?

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının tanımına göre;

**Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır.**

Enerji verimliliği politikaları, bir taraftan ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkili olması diğer taraftan ise toplam sera gazı salımlarının azaltılmasında oynadığı kilit rol nedeniyle, hassasiyetle ele alınması gereken alanların başında gelmektedir.

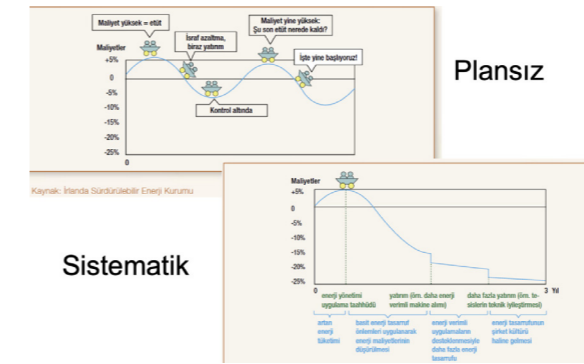
### 1.4. Enerji Yönetim Sistemi

Enerji yönetim sistemi, enerji politikasını ve amaçlarını belirlemek ve bu amaçlara ulaşmak için birbiriyle ilişkisi olan veya karşılıklı etkileşime giren öğeler kümesidir.

Etkin bir EnYS kurulması sonucunda, sadece oluşacak farkındalık ile (önemli ölçüde bir yatırım yapmadan) %10-15 oranında enerji verimliliği sağlanabilir.

İşletme genelinde sistematik bir yol haritası ile tüm enerji tüketim noktalarının etüt edilmesi ve "teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir" projelerin gerçekleştirilmesi ile potansiyel olarak %30'lara ulaşan enerji tasarrufuna ulaşılabilir.

Enerji tüketimi konusunda bilinç düzeyi yüksek olan Kanada'da Enerji Yönetim Sistemi uygulanan tesislerde ilk 18 ayda %10 civarında, 4 yılın sonunda ise %20 tasarruf sağlandığı görülmüştür.



Şekil 5. Plansız ve Sistematik Enerji Yönetimi karşılaştırma tablosu

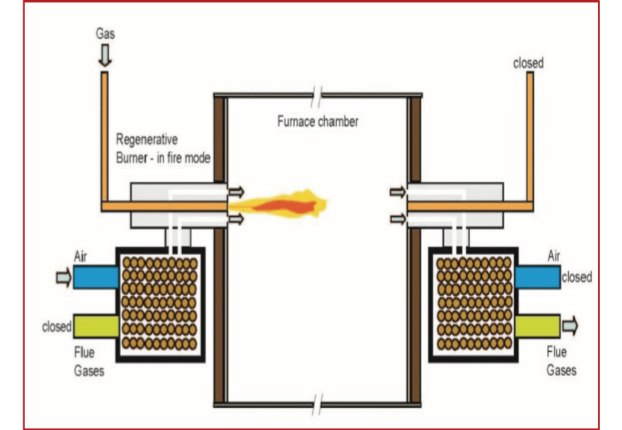
Gaz Yakma sistemlerinde enerji verimliliği için uygulanacak yöntemler;

- Ekipman bazlı sayaç kullanımı
- Enerji gözden geçirmelerinin düzenli olarak yapılması
- Verimli ekipman kullanımı
- Önemli enerji kullanıcılarının belirlenmesi
- İşe dönüştürülemeyen enerjinin diğer bir deyişle atık enerjinin geri kazanımı

### 1.5. Rejeneratif sistemler

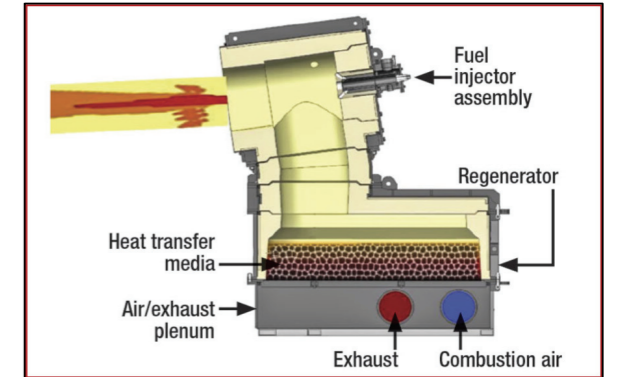
Rejeneratif brülörler, yüksek sıcaklıktaki yanma odasından çıkan egzoz ısısını geri kazanmak, tekrar kullanmak ve yanma havasını ısıtmak için tasarlanmıştır.

Rejeneratif brülörler, aynı özelliğe sahip iki ısı hücreli yapının karşılıklı ve kontrollü çalışma prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 6. Rejeneratif sistem çalışma prensibi

Her yakıcı seramik petek veya toplardan oluşan bir sandık içermektedir. Bu rejeneratörlerin tasarımları yakıcıdan yakıcıya farklılık gösterebilir. Bu sistemlerde 1.yakıcı soğuk yakma havası ile yakma modunda çalışırken, diğer yakıcı yanma hücresindeki egzoz gazlarını emer. Yakma havasının ısıtılması ise ısının seramik petek veya toplara depolanması ile sağlanmaktadır.



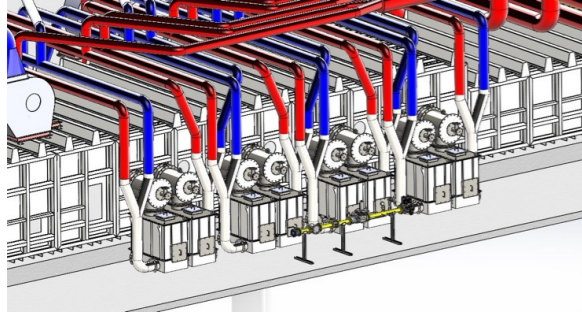
Şekil 7. Rejeneratif brülör iç görünüşü

Sistem, egzoz gazlarını fırından ısıyı toplamak için alümina bilyeler veya seramik petekler gibi ateşe dayanıklı materyal dolu bir ortama yönlendirilerek çalışır. Alümina bilyeler ve seramik petekler, korozyona dayanıklılığı ve ısıya dirençliliği mükemmel ve ekonomik malzemelerdir.

Yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı, alümina bilyeli veya seramik petekli ortamı yüksek sıcaklıkta ısıtır, egzozdan gelen yüksek sıcaklıktaki atık ısı enerjisi böylece geri kazanılır ve depolanır.

Ortam tamamen ısıtıldığı zaman egzoz gazının yönü tersine çevrilir, depolanan ısı, brülöre giren giriş yanma havasına transfer edilir, rejeneratif ortamda ön ısıtma yapılan yakma havası (yaklaşık 750-1100 °C) brülörü ateşlemeye başlar ve fırına yüksek hızla alev püskürtülür. Sıcak (rejeneratif) ortamdan gelen egzoz, daha sonra soğuk ortamı ısıtır ve işlem devam eder.

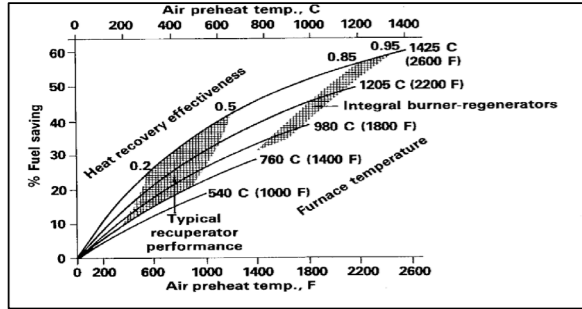
Bu teknik sayesinde, rejeneratif brülör yanma havasını ısıtmak için kullanılan yakıt israfını önler ve bu da yanma verimliliğini artırır.



Şekil 8. Fırın üzerinde rejeneratif brülör yerleşimi

### 1.5.1. Rejeneratif sistemlerin avantajları

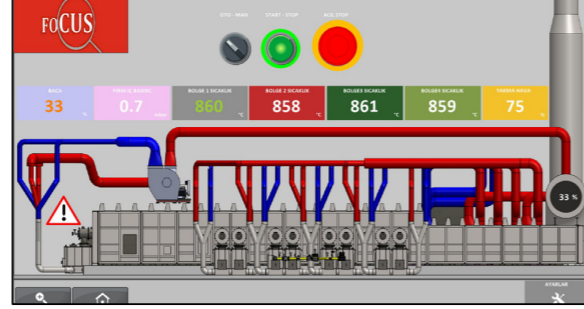
Rejeneratif Yakıcılar ile 1205 °C çalışma sıcaklığında 1100 °C yakma havası sıcaklığına ulaşabilmektedir. Bu sayede %40'lara varan enerji tasarrufu sağlamaktadır



Şekil 9. Soğuk yakıcılara göre rejeneratif sistemlerin yakıt tasarrufu

Rejeneratif Sistem kurulumu ile birlikte devreye alınacak olan otomasyon sistemi sayesinde yakma prosesi dijitalleşecek ve üretim adımları izlenerek kayıt alınabilecektir.

Enerji yönetim sistemini destekleyecek bu program ile enerji kullanımı kolaylıkla takip edilebilecek ve gözden geçirmeler sonrası iyileştirme aksiyonları alınabilecektir.



Şekil 10. Rejeneratif sistem otomasyon dijital paneli

### 2. Deneysel Çalışmalar

18.000.000 Kcal toplam yakıcı kapasitesi olan bir sistem için; Rejeneratif Yakıcı Sistemde, Merkezi Reküperatörlü Sisteme Göre Saatlik 354,70 Euro tasarruf sağlanacaktır.

Çizelge 1. Merkezi Reküperatörlü sisteme göre rejeneratif sistemlerin yakıt tasarrufu

	Merkezi Reküperatörlü Sistem (450°C)	Rejeneratif Yakıcı Sistem
Toplam Yakıcı Kapasitesi (Kcal/saat)	18000	18000
Doğalgaz (NM <sup>3</sup> )	2181,81	1309,09
Doğalgaz maliyeti (Euro)	891,64	534,98
Fanların Elektrik maliyeti (Euro)	1,95	3,91
Toplam Maliyet (Euro)	893,59	538,90

Günde 24 saat 30 gün ve Yılda 10 ay proses çalışma süresi öngörüldüğünde;

354,70 x 24 saat x 30 gün x 10 ay = 2.553.813,00 Euro tasarruf öngörülmektedir.

Çizelge 2. CO<sup>2</sup> emisyon ve verimlilik tablosu

Sistem	Sıcak ön hava	Isı Verimliliği %	CO <sup>2</sup> emisyonu kcal x 10 <sup>6</sup>
Soğuk yakıcı sistem	21	32	675
Merkezi reküperatif sistem	500	49	440
Rejeneratif sistem	1130	71	300

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Modern Rejeneratif yakma sistemleri, çok çeşitli endüstriyel ısıtma proseslerinde dünya çapında yüzlerce uygulamada başarıyla uygulanmıştır.

Verimlilik ve çevresel faydaları bir çok akademik çalışma ile kanıtlanmıştır.

Rejeneratif brülör sistemleri atık ısıyı geri kazandıkları için %40'a varan yakıt tasarrufu sağlar, bu vesile ile tesisin ihtiyaç duyduğu gaz miktarı azalır.

Yakıt tasarrufuna dayalı olarak genellikle 1-2 yıl aralığında geri ödeme süreleri mevcuttur.

Fırında yanma verimliliği artar ve emisyon oranları azalır. Uygun kontrollerle, toplam işletme maliyetlerini ve yakıt maliyetleri düşer.

### 4. Sonuç

Her şey küçük adımlarla başlar. Bu adımların büyük etkilerini görmek için ise sabır ve süreklilik gerekir. Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmanın bizlere düşen tarafında ise süreç tam da böyle ilerler.

Günlük hayatımızda, evimizde, işimizde ya da okulumuzda enerjiyi verimli kullanmak için attığımız küçük adımlar hem cebimize hem ülke ekonomisine katkı sağlar, bu adımların kararlılığı ve birleşmesiyle de ülke ekonomisi milyarlarca lira tasarruf eder.

### Teşekkür

TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası başta olmak üzere, EFRS 2022 sempozyumunda yer alan sponsorlar, katılımcılar ve akademik kurula teşekkür ederiz.

### Referanslar

[1] Değer Saygın (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi), Emre Gencer (MIT Energy Initiative) ve Barış Sanlı (Bilkent Enerji Politikaları Araştırma Merkezi), Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları, 2019

[2] www.enerji.gov.tr

[3] www.steel-data.com

[3] www.aklinlaverimliyasa.com

[4] Heinz-Peter Gitzinger, Martin Wicker, Phil Ballinger, Saving energy by modernizing the heating system, using modern self recuperative burners, 2010

[5] UAE (Uluslararası Enerji Ajansı)

[6] ISO Sürdürülebilirlik Vizyonu (Ana Metaller Sanayi) Raporu

[7] https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistics/parliament/2015-2016/pdf/parliament15-16.pdf

# Eliminating CO2, Energy, and Quality Inefficiencies Through Application of AI



**Michael F. PEINTINGER, Falk-Florian HENRICH, Lucas CORTS**

Smart Steel Technologies - USA, Germany

## INTRODUCTION

Steel is the backbone of modern civilization but almost two tonnes of CO2 are emitted during the production of one tonne of steel on average. Therefore, the steel industry accounts for approximately 8% of anthropogenic CO2 emissions. Due to increasing global average temperatures and the resulting urgency to reduce Greenhouse gas emissions, most countries are introducing emission trading systems or so-called carbon taxes. Due to growing consumer awareness, consuming industries like the automotive and aerospace industries also push themselves and their supply chains forward to reduce the CO2 footprint.

Applying artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) algorithms to optimize energy consumption has the potential to lower the carbon footprint without the need to invest into new equipment. However, punctual applications of AI to individual processing steps could even counteract valuable achievements in an upstream or downstream process due to imposed requirements on input material or a single objective cost optimization at the expense of output quality. To fully unleash the potential and increase the artificial intelligence acceptance in steel manufacturing, the AI approach must be extended from individual processing steps to a plant-wide strategy. Establishing such an end-to-end optimization requires a systematic approach taking data integration, quality monitoring and process optimization into account. Also, the transition needs to take place in parallel with the existing steel manufacturing systems and must not interfere with ongoing steel production.

We have implemented our artificial intelligence-based software modules that aim at improving the efficiency of the production process in regards to energy consumption and yield increase driven by Big Data. In the following we describe the interplay between artificial intelligence based emission assignment and tracking, temperature guidance, defect classification and casting optimization to achieve this pressing goal.

## DISCUSSION

### Greenhouse Gas Emission Tracking

Implementing a transparent CO2 tracking in steel production is one of the major challenges to address, since transparent tracking of material in combination with machine learning allows for the assignment of accurate CO2 footprints to individual material pieces and their processing steps.

Therefore a regression model was developed that tracks all parameters and thus, correlates the total energy consumption to tapped hot metal. In this way the CO2 emissions can be assigned to every single tonne of hot metal. The model predicts all influencing parameters and their impact. This is the basis for a model that helps to reduce energy consumption and CO2 emission.

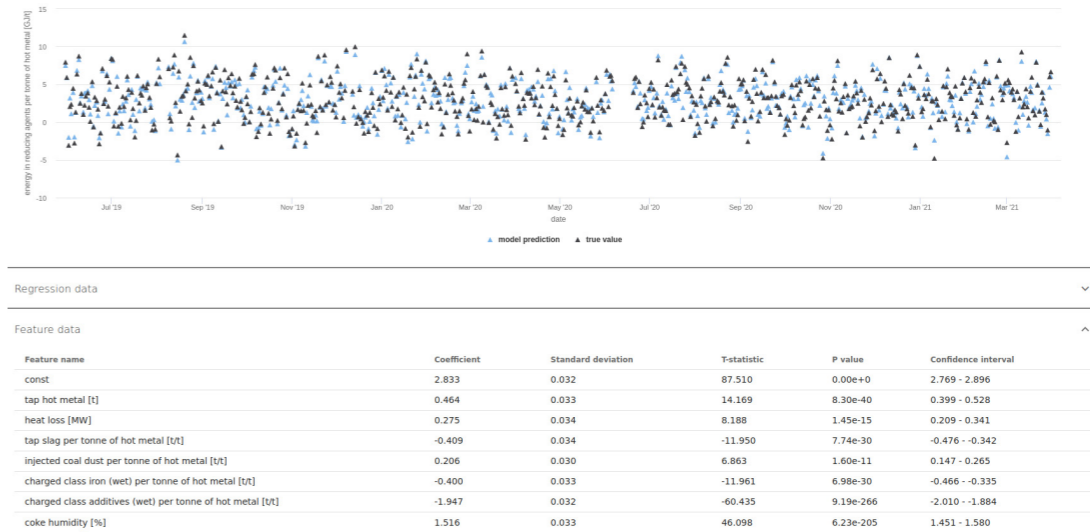


Figure 1: Regression analysis

### Process Control from Secondary Metallurgy to Continuous Casting

Taking the entire secondary metallurgy into account, the optimum BOF or EAF tapping temperature is calculated by a global recommendation model for each heat in the sequence in order to precisely hit the specified ladle furnace temperature and tundish superheat temperature.

In order to accurately tap at the recommended temperature, our Temperature Optimization AI also calculates a prediction of the tapping temperature at the start of the refining phase (in the case of an EAF) or the main blow (in case of a BOF), taking into account the numerous relevant input variables such as quantity, temperature and analysis of the pig iron, composition of the scrap, the refining phase schedule as well as addition of slag formers and other additives during treatment. This enables operators to react to any unwanted deviations. The treatment at

the ladle furnace is supported by comparable models; in particular, the software also calculates the ideal discharge temperature.

Regardless of the route, the optimum delivery temperature is always calculated for the last station of the secondary metallurgy using a separate model, so that the temperature in the tundish reaches the desired superheat. Particularly important influencing factors are the thermal condition of the ladle, the temperature of the preceding heat and the planned beginning of casting.

In addition, the casting operation is supported by the tundish end temperature model, which calculates the expected tundish end temperature for the current heat during casting. The prediction is continuously updated in real time and takes into account, among many other parameters, the temperature of the preceding and the homogeneity of the current heat.

The interplay of these global recommendation and local prediction models stabilizes the process across all stations, so, for example, Marienhütte is now able to minimize temperature buffers and consequently, lower the tapping temperature in the EAF. On average, the temperature is reduced by 10K. The result is permanent energy and CO<sub>2</sub> savings.

These models are implemented in the basic oxygen furnace (BOF) melt shop at ArcelorMittal Eisenhüttenstadt and Duisburg in Germany and in the electric arc furnace (EAF) melt shop of Marienhütte in Graz, Austria. This proves that this approach is suitable for large and complex meltshops, but also for smaller plants and allows to increase the profitability while reducing the carbon footprint.

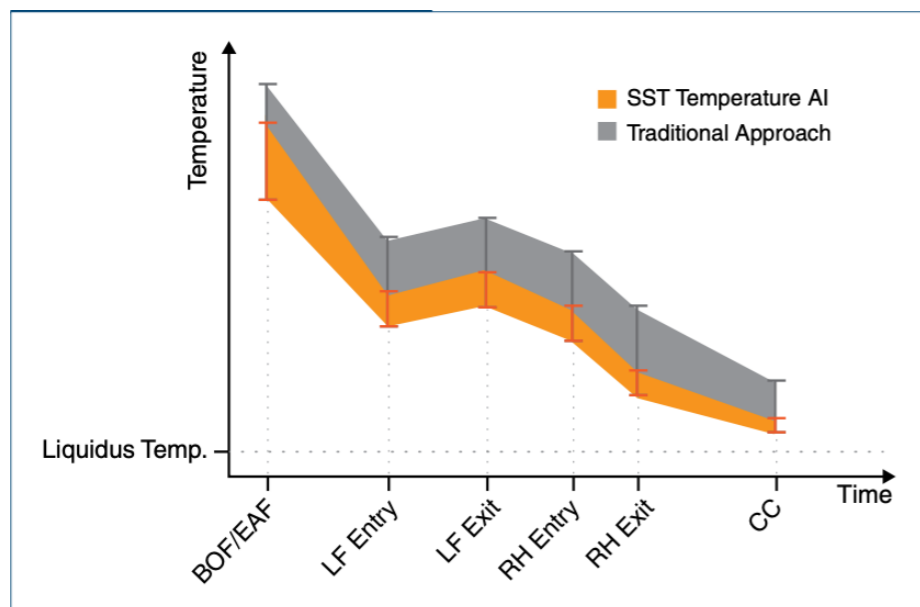


Figure 2: Minimizing Temperature Buffer

### Reliable Defect Classification

To optimize the production process with AI algorithms, a goal or "target signal" has to be identified. Surface defects are the main reason in rejecting material that is produced for high-end quality products, e.g. automotive exposed sheet metal. Yield loss in the worst case (if the material cannot be repaired or reapplied), has a high impact on the carbon footprint. Therefore, the reduction of these surface defects serves as an excellent target signal for process optimization, e.g. at continuous casting.

Steelmakers invest heavily in automated surface inspection systems (ASIS) at the end of the hot strip mills, continuous pickling lines and continuous galvanizing lines. These systems take images of the top and bottom of the strip as it passes by.

Due to outdated classification algorithms, most of the currently deployed ASI system's classifiers are robust and accurate enough to be used in automated process optimization.

We have achieved accurate classification using our deep convolutional neural network (CNN) classifiers specifically designed for steel surface images taken at individual steel processing steps. The network topologies of our Surface AI are fine-tuned with plant-specific training data and beat any other method in terms of labeling accuracy [6]. Integrating the full material genealogy (see section 2.5) enables to cross-reference potential defects to preceding manufacturing steps to achieve an even higher labeling accuracy.

### Casting Optimization

High quality steels used for automotive exposed products are specifically susceptible to surface quality defects such as slivers [3–8]. Those defects often only become towards the end of the value chain. In previous studies we have shown how ArcelorMittal Eisenhüttenstadt reduced specific surface defects by more than 50% [2].

The input of our Casting AI is a full set of casting parameters, e.g., casting speed, submerged-entry nozzle, submersion level, mold width as well as melt shop parameters, e.g., superheat temperature, chemistry.

The models compute optimal values for continuous and discrete casting as well as melt shop parameters that lead to the best quality, e.g., minimization of slivers, while taking into account highly complex constraints originating from both business requirements and physical limits of the casting equipment.

The parameters are directly fed back into the casting planning system. This results in an optimized sequence that minimizes quality deviations and downgrading and reallocation. The yield increase translates directly to a reduction of Greenhouse gas emissions.

### Data Integration and Human Machine Interface Implementation

To enable the machine learning models to calculate precise recommendations and predictions for each heat, correctly classify surface defects from the automated surface inspection system (ASIS) and optimize the casting sequence, all relevant L1, L2 and ASIS data are integrated into the SST Data Platform in real time [5]. It aggregates and validates data from all sources in an integrated steel mill and stores data in specialized databases depending on the type and usage. This includes relational databases (scalars, Genealogy), columnar OLAP databases (time series), a dedicated Vector database (features) as well as low-cost media storage (images, video). Any transformation occurring during the production process is stored during data aggregation to allow full material tracking and data transformation depending on the reference point.

Recommendations and predictions calculated by the Temperature AI are displayed within the original melt shop user interface as well as in our web-based human machine interface together with the most important influencing variables.

Reclassified defects are shown in the web-based centralized coil map, including defect tracking, clustering and full coil genealogy. The optimized casting schedule is also shown in a web-based user interface.

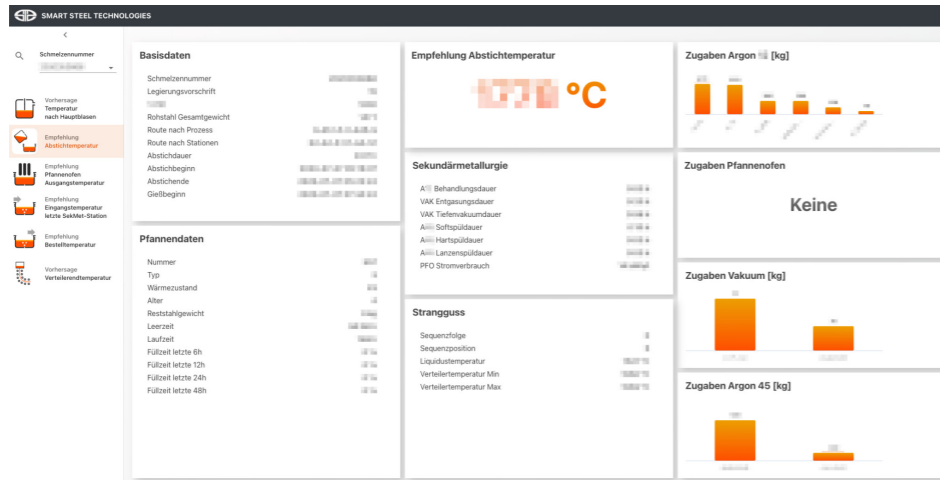


Figure 3: HMI for Tapping Temperature Recommendation at the BOF

## RESULTS

The overall temperature level from EAF tapping to LF exit was reduced by 8K. The result is permanent energy and CO<sub>2</sub> savings. Surface defect classification was improved to 95% accuracy. Applying the Casting AI a permanent reduction of the rate of sliver defects for automotive exposed grades by 50 % and more and therefore downgrading was achieved.

## CONCLUSIONS

The reported solutions are actively used in steel production at multiple facilities, each with their individual product mix, equipment setup, process peculiarities and data structures. By combining the different recommendation and prediction models, which support the process steps from the converter via the ladle furnace to the last station of the secondary metallurgy, taking into account the planned sequences at the casting machine, our Temperature AI allows precise temperature control during the entire secondary metallurgical treatment. Temperature-related disturbances are thus immediately reduced, and the more precise control of the temperature leads to better plannability, also since, for example, treatment times at the ladle furnace are homogenized. We plan further improvements to better predict situations when the heat has a high chemical energy (i.e. contains higher amounts of e.g. Cr, Mn, Si) by using offgas data. Also, MHG is in the process of introducing a temperature probe that measures the O<sub>2</sub> and C content early on. Reliable surface defect classification enables producers to implement data driven casting optimization which leads to less rejects and reallocation.

Implementing such an integrated and systematic approach in any steel mill is a very challenging project and requires tight collaboration of metallurgy, steelmaking, data science, machine learning and IT experts. This cross-disciplinary expertise allows tackling key success requirements of such a project. The motivation for such an endeavor to implement temperature guidance, defect classification and casting optimization is economic. However, lowering the energy consumption, increasing quality and therefore yield directly translate into carbon dioxide emission reduction.

## REFERENCES

1. M. Peintinger, "Big Data", Iron & Steel Technology, Dec Issue, 2021, <http://digital.library.aist.org/pages/PR-DA1221-1.htm>.
2. R. Böslér, F. Henrich, O. Jannasch and J. Daldrop, "Optimized Production of Automotive Steel Sheet Through Application of AI," Steel Times International 2021, Future Steel Forum 2020.
3. M. Lüttenberg, S. Hilterscheid, F. Henrich, O. Jannasch, J. Daldrop and T. Wessels, "Präzise Stahltemperaturführung mit künstlicher Intelligenz," Stahl und Eisen, No. 04, March 2021.
4. D.H. Kindt et al., "Steelmaking Practices to Improve the Surface Quality of Cold Rolled Sheet at Bethlehem's Burns Harbor Plant," Steelmaking Conf. Proc., 1990.
5. M. Peintinger, "Application of Highly Specialized Database Technology Within a Unified Data Landscape", AIST Digital Transformation Forum 2022.
6. F. Henrich et al., "Classifying Defects More Reliably," STEEL + TECHNOLOGY, Vol. 4, 2019.

## Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters

◆  
**Claudia HEMMELMEIR, Serkan ÖZDEMİR**

Primetals Technologies - Austria

### Abstract

With worldwide experience and many installations Primetals Technologies is world market leader for mechatronic products for checking the most critical parts of casters.

Original products from Primetals Technologies are the culmination of several years' experience in engineering, design, manufacturing, operations, and maintenance. Our sophisticated testing procedures enable us to offer instantly deployable solutions, deliverable quickly, anywhere in the world.

In this respect, our aim is to set up the most modern mechatronic products available on the market. It will allow for more control at the hearth of casters. Based on state-of-the-art control philosophies like perfect oscillation, perfect alignment & gaps of strands and perfect mold surface are the main focus.

### Introduction

This paper describes the features of the checker products for casters and operational experience of the products. Our focus is on the practical aspects of plant status monitoring, reporting, and functionality as well as the improvements achieved.

Crystallization zone is the hearth of the casters and if you can maintain and monitor these critical areas it gives you chance to match optimization of higher quality, less maintenance and long life time.

Mold surface, oscillation conditions (for billet/bloom/slab casters) and segment alignments & gaps (for slab casters) are the key effects to product quality. With the products which given in detail as following pages, our customers are increasing the life times of molds, arranging and controlling required oscillation conditions and after installing the segments to the caster, they are checking whole strand alignment & gap for effective production.

### 1. Oscillation Checker for Perfect Casting Products

Knowledge of oscillation movement of a casting mold provides plant operators with important information about the surface quality to be expected. Additionally, this gives information about the maintenance condition of the oscillator.



Fig.1: Wireless oscillation sensor

The portable OsciChecker Wireless records and displays the movement of the mold in all three spatial directions. With an OsciChecker Wireless consisting of more than one measurement sensors, the rotation and phase shift can be measured too. The operator can check the mechanical condition of the entire oscillating equipment by means of evaluated data (bearing clearance, etc.).

The system comprises up to four sensors and battery-powered measurement PC (Notebook PC). For each of the three axes capacity acceleration sensors are used. The evaluation software calculates the movements out of the acceleration signals. The displayed values are updated every second, so changes can be viewed in real-time. A rigid body check monitors the measurement procedure and informs of incorrect handling.

The system is also available as a fixed installed version, this version is called OsciMon. Using the same technique and electronics, the OsciMon measures permanently the mechanical condition of the oscillator and can give an

alarm if the movement does not comply with given set points.

### Advantages of the device

- Reduction of breakout risk
  - Help to detect source for surface defects
  - Early detection of problems in mold guidance
  - Simple check of the real stroke of the oscillator
  - Easy handling, no cable tangle
  - Variable measurement points
  - Movement is visible in real-time
  - Can be used for straight and curved oscillations
  - Measures and evaluates sinusoidal and non-sinusoidal oscillation
  - Saving of measurement data with only one mouse click for later analysis
  - Report generation
  - Phase shift between several measurement points\*
  - Rigid body check monitors measurement procedure\*
  - Fix installed version with alarm system available
- \* only available for measurements with more than 1 sensor

### Principle of measurement

The OsciChecker Wireless picks up mold movement spatially by capacitive acceleration sensors. For measuring, the sensors are placed on the mold, x pointing in casting direction and z in stroke direction as shown in Figure 2. Data of all 3 dimensions is collected simultaneously.

Fig.2: Principle of measurement with 4 measurement sensors

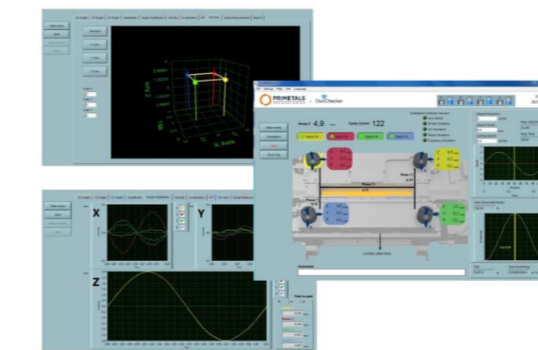
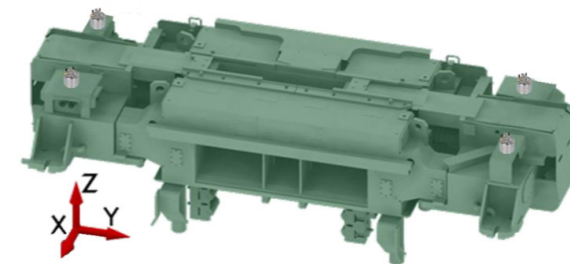
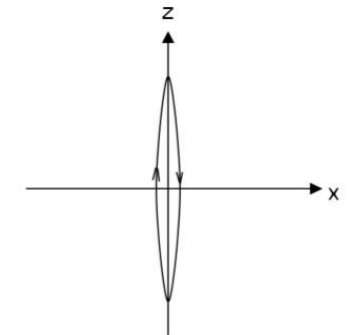


Fig.3: Online measurement screens

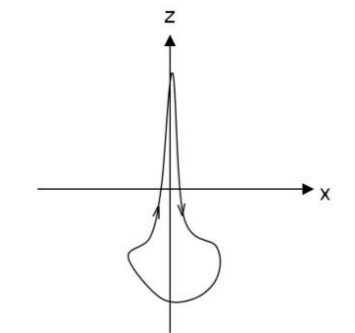
During measurement the movement of the mold is shown and numerical values for oscillation frequency and strokes in all 3 dimensions are displayed.

The oscillations are represented graphically in the X-Z, Y-Z and X-Y planes. These graphs facilitate localization and elimination of defects in oscillation equipment.

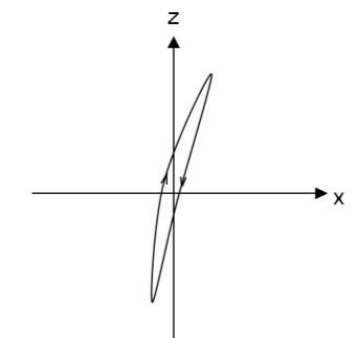
Fig.3: following graphs show different types of oscillations



Normal oscillation (in z-axis only)

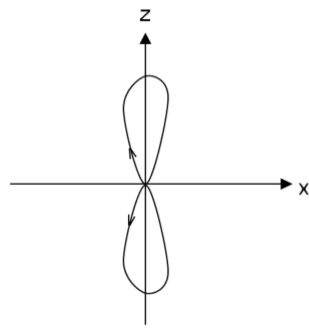


Clearance in the bottom dead center of the mold



Curved oscillation (in x-z-axis)





Tumbling of mold

**Measuring**

Measurement equipment consists of:

- Up to four (4) measuring sensors,
- Calibration plate
- Measurement PC
- Data acquisition and evaluation program
- Protection case conducted as trolley for easy handling

**Data Acquisition**

Mold accelerations are recorded by means of capacitive acceleration sensors in the three spatial directions.

The intelligent software is able to compensate an inclination of the measurement sensors up to 2 degrees automatically.

A calibration plate, which is in the standard scope of supply, makes calibration of the OsciChecker Wireless easily possible and calibration can be done anywhere.

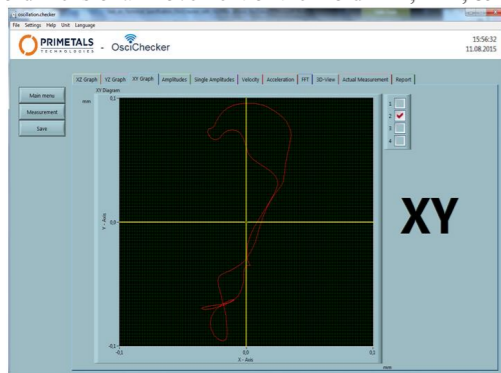
Since the OsciChecker Wireless calibrates the acceleration Sensors on the earth's gravity, a perfect trustworthy reference is given.

**Data Evaluation**

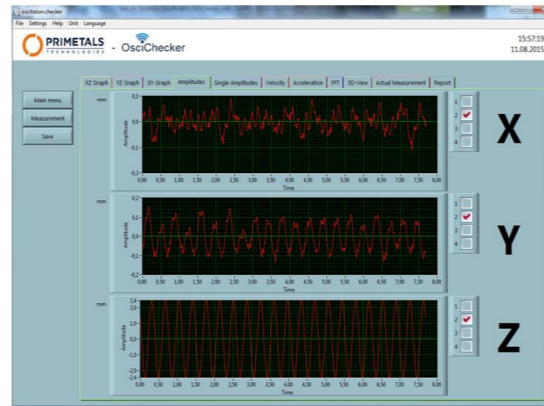
Data can be evaluated immediately during measurement or offline from stored measurements.

The evaluation program can be installed on different PCs.

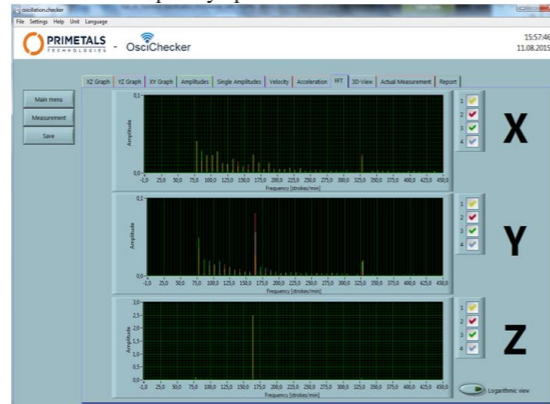
Two-dimensional movement of the mold Z-X, Z-Y, & X-Y



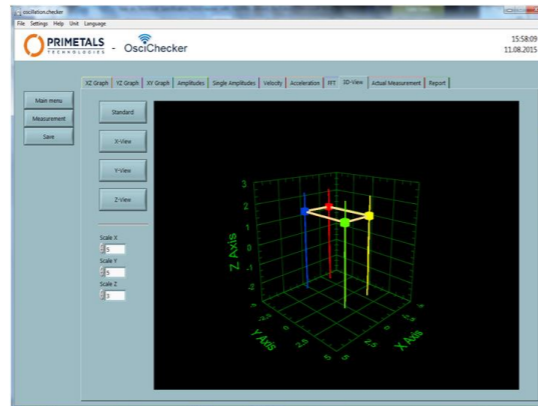
Graphical display of amplitude / velocity / acceleration in each direction versus time



Frequency spectrum of movements

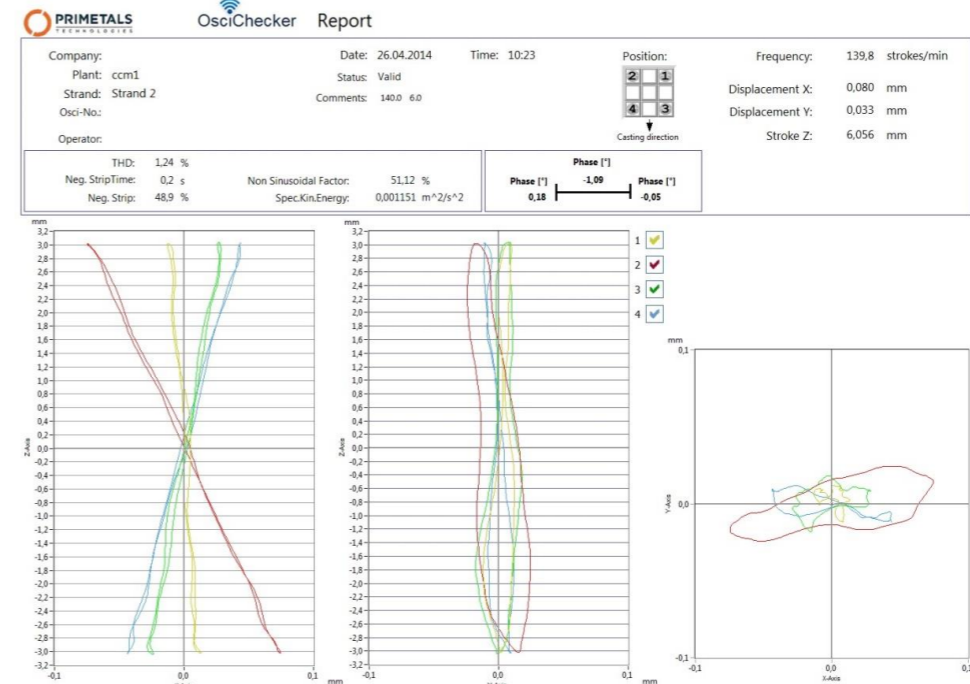


Animated 3D movement of the mold



Additionally reports of the measurements can be generated easily.

Complete reports of the measurement can be sent to a printer or saved to a file.



**Technical Data**

**Acceleration Sensor**

Measuring range	± 30 m/s <sup>2</sup> (~ 3g)
Temperature Range	-20°C to +70°C (-4 °F to +158 °F)
<b>Dimensions:</b>	
Diameter	100 mm (3,92 in)
Height (cylinder / with antennas)	75 mm (2,95 in) / 115 mm (4,52 in)
Weight	1,6 kg (3,53 lbs)
Magnet power	Ca. 16 N
<b>Electric:</b>	
Battery type: voltage / capacity	Li-Ion: 3,7 V / ca. 2,5 Ah
Operating voltage / current	3 to 4 V / 0,2 A
Charging supply	typ. 5 V; ca. 0,5 A
Charging current / time	max. 4,2 V (internally) / max. 7 h
Display	2 LED's (Charging and Operation)
<b>Degree of protection:</b>	
OsciChecker Wireless Sensor	IP 54

**Data Acquisition Unit (including Laptop)**

Measuring and Evaluation Computer	Notebook HP ProBook 650
Operating system	Windows 7
Data Acquisition Program	OsciChecker 7.0
Measuring Range Amplitude	± 10 mm (± 0.39 in)
Measuring Range Frequency	60 - 600 strokes/min
Accuracy of Measurement	± 25µm vertical / ± 10µm horizontal
Accuracy of Measurement Frequency:	± 0,5 strokes/min
Temperature Range	+5 °C to +35 °C (40 °F to 95 °F)
Dimensions (measuring box):	approx. 250mm x 440mm x 220mm (9,84 in x 17,32 in x 8,66 in)
Weight (measurement box including 4 Sensors)	approx. 20 kg

## 2. Mold Checker for Longer Life Time & High Quality Surface and Heat Treatment

With the Mold Checker measuring device you acquire a high precision, high sophisticated quality product, designed by a renowned company.

The Mold Checker's newest laser technology makes you able to improve your quality, efficiency and production with one single device.

For the first time you will be able to measure the whole 3-dimensional contour of a new mold and estimate the lifetime of the mold. All results are documented and visualized in an easily interpretable form.

The Mold Checker measures not only along the axis, by measuring several layers the complete 3D structure of the mold is included in the measurement data and will be evaluated. So no blind spots with possibly missed scratches are left.

The advantages of a 3-dimensional measurement of the mold are:

- Wear at any part of mold can be observed with one eye catch
- Scratches are easily detected, no matter where in the mold they appear.
- The distribution of wear is evaluated.

The Mold Checker is your all-in-one measurement device which replaces:

- Taper meter
- Surface inspection system

The Mold Checker calculates all results from one measurement. After entering the identification parameters for the mold, the measurement procedure runs automatically. No interaction or supervision is needed.



### Function Description

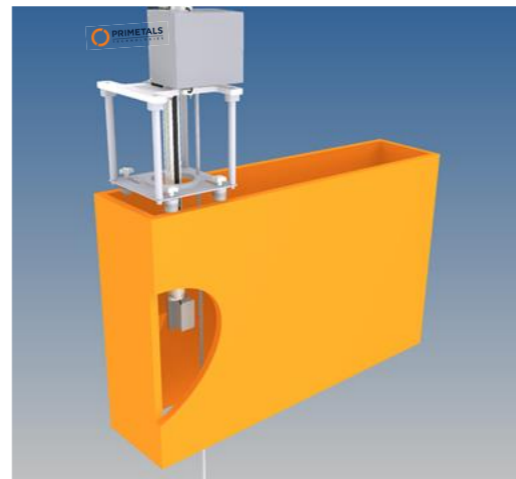
The Mold Checker Slab measurement task:

- Measurement of the mold cross sections at different heights (cross section measurement).
- Measurement of a vertical line at the broad faces to detect horizontal scratches).

### Measurement Unit

The measuring unit includes the precision laser distance meter which is pivot-mounted, by using a slip ring endless rotation is possible. The linear unit moves the laser up and down the mold with a motor. The whole control system for the motors is also included in the measuring unit.

The newest Mold Checker Slab generation benefits from the advanced digital technology. By using only digital signals for measurement data, starting inside the precision laser distance meter and ending at the digital position encoder, analog noise and interferences are completely eliminated.



### Evaluation Unit

The evaluation unit includes a computer and the software necessary for control the measurement unit.

Both units are connected together by a standard RJ-45 cable.

### Design

The Mold Checker evaluation unit is given as a laptop. A lockable transport box on wheels suitable for the device and the laptop is also delivered so the whole measurement unit can be moved to different places.

Advantages:

- You can measure wherever you want, on different places in the maintenance shop or directly in the plant.

### Initialization

Due to the high resolution of the laser, laser adapter plates are used for different mold sizes.

The measurement program starts with a calibration measurement. During this measurement the exact mechanical position of the laser is evaluated by measuring the calibration ring. If another laser adapter plate has to be used, the Mold Checker Slab finds the new calibration parameters automatically.

Additionally, the casting direction and top of mold are determined during the initialization procedure. The whole initialization process is done within 15 seconds.

### Measurement

The linear unit stops the laser at user-defined depths of the mold and measures each section by rotating the laser. The sections to measure can be defined individually in steps of minimum 5mm.

Optimal performance is given by using small steps (e.g. 5 mm) in interesting regions (e.g. meniscus, bottom of mold) and bigger steps (e.g. 50 mm) in the regions in between.

A pendulum is used as a vertical reference, so the taper can be measured.

The measurement data is stored automatically, so analysis can be done at a later date.

To detect horizontal scratches the Mold Checker Slab makes vertical measurements of the broad faces.

In this way the depth and position of the scratch is evaluated.

### Foot Roll Measurement (Optional Feature)

The linear unit moves further down the mold to the foot rolls. By moving vertical, every foot roll is measured twice so the exact position relative to the mold can be ascertained. Optional, the Mold Checker can measure down to the first bender rolls, so you can gather information of the correct position of the mold in relation to the strand.

### Analysis

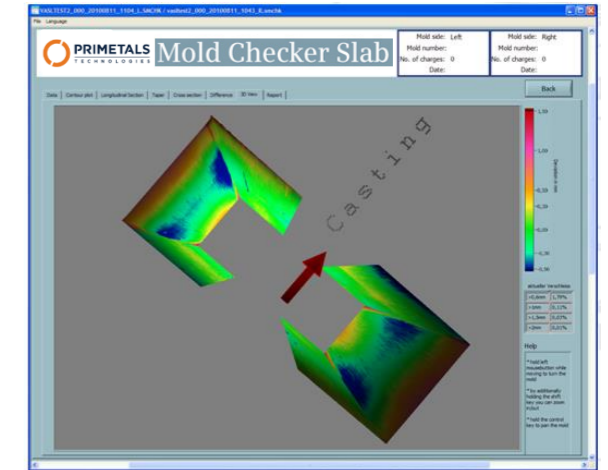
The measurement data is always compared to set points. Depending on the size of the measurement data, the analyzing routines need 5 to 10 seconds.

Please see following descriptions for a rough summary of the represented results.

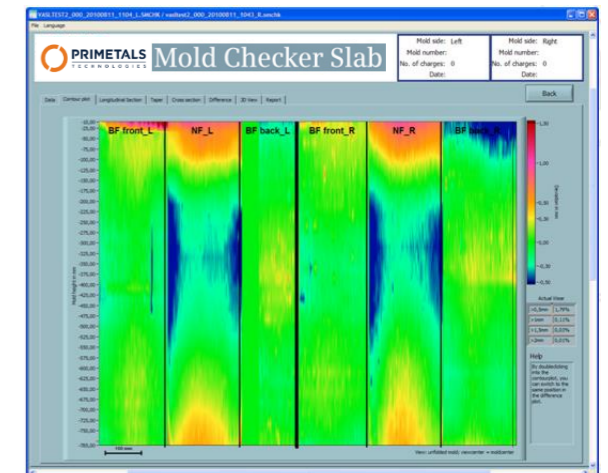
### 3D View

In the 3d view the inner contour of the mold is displayed in a false color view. The viewing angle can be changed easily by moving the mouse as it is done in a 3-d design program. The colors of the surface indicate the intensity of the deviation, red indicates high deviation and green indicates no deviation.

In the example view below, a typical measurement is displayed.



### Contour Part

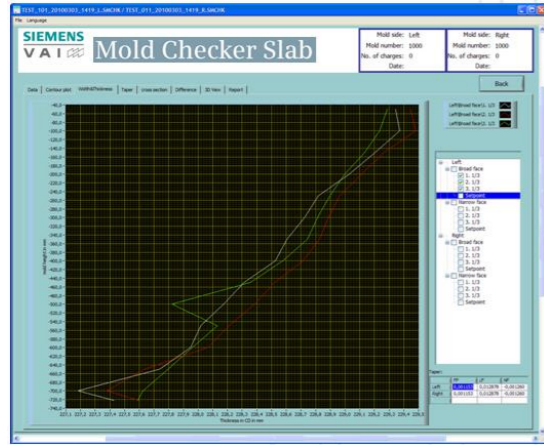


The figure above shows the contour plot of the unfold mold.

In this view, the complete deviation can be inspected with one eye catch. This represents the same data as the 3-D view does, but in a more technical, clearly represented manner.

### Width & Thickness

Because total cross sections of the mold have been measured, the taper of the mold can now be calculated for broad and narrow faces.



The picture above shows the taper of broad and narrow faces at 3 different vertical lines.

**Foot Roll Evaluation (optional)**

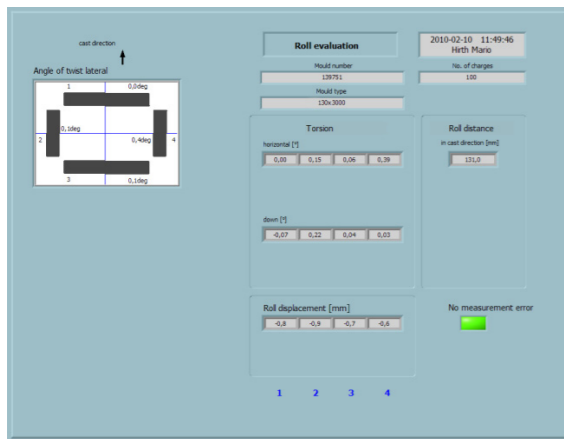
In this mode, the Mold Checker Slab evaluates every foot roll on 2 vertical lines to calculate foot roll position and foot roll angle.

In this way, 3 measurement results can be obtained:

- Distance between opposite foot rolls
- Alignment of foot rolls to shape of mold
- Inclination of foot rolls

It has been shown that the inclination of the foot rolls have influence on the position of maximum wear (asymmetric wear with inclined foot rolls) and the profile of the slabs.

Optional, the Mold Checker can measure down to the first bender rolls, so you can gather information of the correct position of the mold in relation to the strand.



So the Mold Checker Slab enables you to:

- save money
- increase slab quality
- keep up with today's top quality management

**Reports**

For quality assurance an analysis report can be printed containing the following information:

- Contour plot of cross section measurement
- Subplots with taper measurement
- Numeric values for maximum wear, wear index (percentage of surface with wear higher than a certain limit).

**Laser**

Laser Class	2 (not dangerous for the human eye)
Measurement range	120 mm
Resolution	7,4 μm
Linearity	≤ ±0,02% typ (≤ ±0,08% max)
Measurement Freq.	1,25 kHz
Temperature stability	0,01%/K

**Other**

Duration of measurement	Depends on number of cross sections that are measured (customized), typically < 5 minutes
Measuring time per cross section	5 to 10 s
Measurement points per cross section	~6000
Repeat accuracy	± 0,08mm
Operating temperature	10° to 35°C (PC), not condensing 0° to 50°C (electronics)
Storage temperature	-20° to 60°C

**Laser Distance Meter (optional)**

Accuracy	± 1mm
Laser class	2
Data connection	Bluetooth class 2

**Benefits**

-Product quality can be kept high by knowing the wear of the mold. (It has been proven that there is a direct correlation between the wear of the mold and subsurface cracks).

-A customer that is using the wear index concept for the management of the mold life, figured out that 75% of the monitored molds could have had an extended life of +40% compared to the standard technological life based on the number of heats cast. For evaluating the wear index, Siemens's Mold Checker measuring device was used.

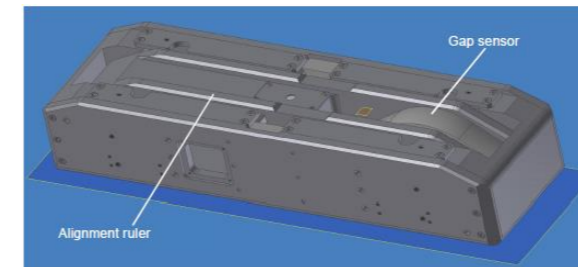
- New molds can be inspected, whether they are manufactured correctly.
- Measurement of different mold formats with one tool
- New mold formats can be measured by comparing it to the drawing file for the new mold type.
- Contact less measurement
- Short measurement time (typically < 10 min.)

-Simple measurement. The measurement is done automatically, so errors caused by human interaction are reduced.

- Documentation of quality of the molds
- Easy comparison of mold dimensions during lifetime, and comparison between different molds is possible.
- Automatic saving of all measurements for 100% traceability.

**3. Inline Strand Checker for Slab Casters Measurement Unit**

The Inline Strand Checker consists of measurement units that are applied to the dummy bar chain and measures roll gap and alignment. The Inline Strand Checker is designed for 225 mm and 250 mm casting thickness.



The measurement unit has rulers that have contact to at least 2 neighboring rolls on outer bow and additionally hold the gap sensor.

**Gap Sensor**



The two measurement arm moves around the common axis and a spring is pressing them against the rolls. The measured angle between these two arms changes according to the changing gap.

**Alignment Sensor**

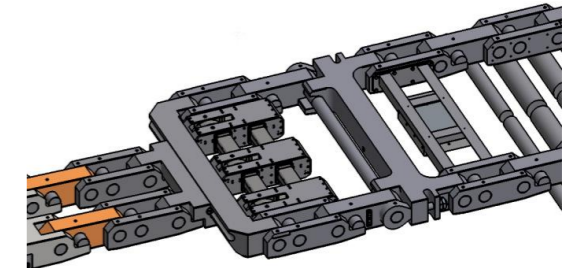
For alignment measurement the free moveable measurement ruler. By springs it is pressed against the outer bow rolls. Therefore it always has contact with two neighboring rolls of the outer bow and measures the angle between these two rolls. Deviations from set point angles show misalignments of rolls and/or segments.

**Evaluation Unit**

All signals from gap and alignment sensors are collected and read in the evaluation unit. Additionally there are batteries and the Wi-Fi connection inside.

**Assembly**

There are 3 lines of measurement units that are applied to the dummy bar. A measurement line consists of gap and alignment measurement.

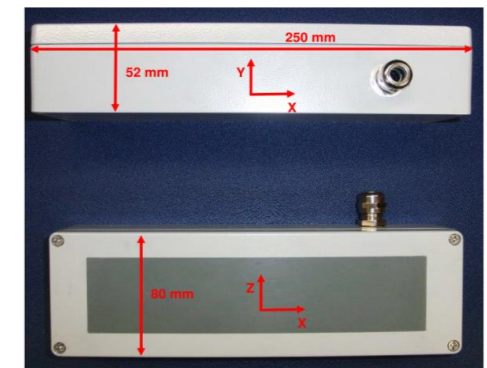


For installing the inline sensors the dummy bar chain has to be modified. With that modification whether the inline sensors move over an intermediate bearing nor the dummy bar chain. All parts are manufactured of stainless steel.

**Charging of Batteries**

The controller inside the evaluation unit that reads, evaluates and stores the sensor signals is powered by batteries. This battery is charged via cable. (A PLC program has to guarantee that the dummy bar is not moved when the charging cable is connected).

Optionally, the batteries in Inline Strand Checker can be charged wireless.

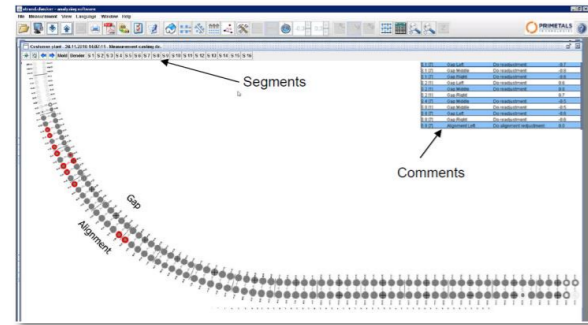


Therefore there are two transmission boxes. One box is mounted to the dummy bar and the other one mounted to the dummy bar car. Customer has to guarantee that these two boxes are within according distances to each other.

**Overview of Complete Caster**

This overview shows

- gap as number between rolls and as roll outer diameter color
- outer roll alignment



All segments, rolls with measured data are visualized. In the upper right corner all comments which are available are shown.

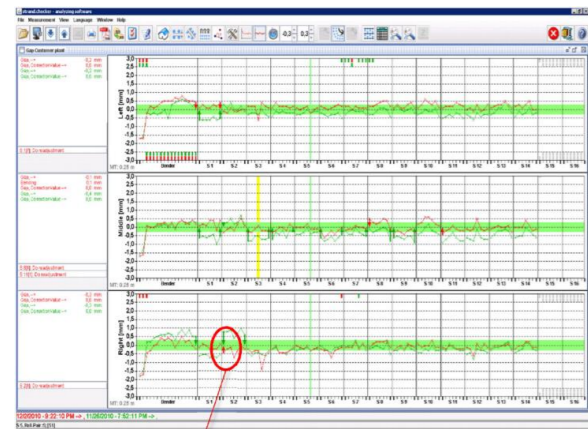
The mouse wheel is used to zoom in and out. To reset the zoom click the button "view all" and the whole caster is shown again.

Every segment is selectable by a button. If the button is pressed the view is zoomed to the selected segment. E.g. S4

**GAP Monitoring**

The gap visualization is subdivided into several diagrams depending on the number of measure lines.

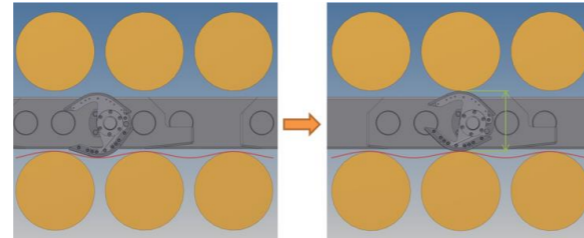
For each diagram a legend with detail information is shown at the left hand side.



**Commenting Measurement**

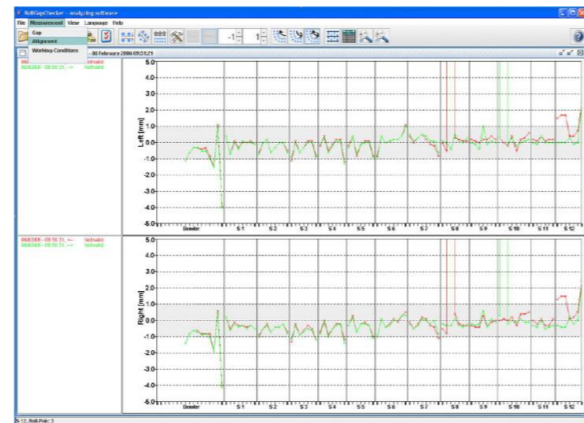
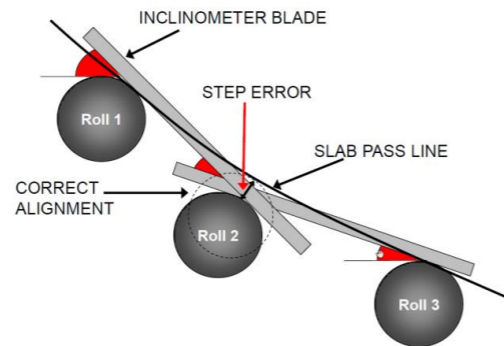
Often a supervisor is evaluating the measurement results. Instead of writing notes on the printed report (but the notes are not stored in the system), he can directly comment within the individual reports and tell the operator in this way:

-which individual roll has to be shimmed for which value  
 -which side of the segment is misaligned and how to shim  
 After the next measurement, when all the reported problems should have been solved, he can compare the new measurement with the old, commented measurement. So he easily can determine if the corrections have led to the desired result.



**Alignment Monitor**

At this overview from strand, segment and roll position, the alignment is shown. For each diagram, on left side, a legend shows detail information.



**Storage Measurements**

A big number of measurements can be stored on the on board memory of the data acquisition unit, but you do not want to store measurement, you want to evaluate them. It does not make sense to have the last 10 measurements stored in the Inline Strand Checker but not have evaluated them.

The measurement results are automatically transferred after the measurement. So no one can forget to transfer a measurement.

Even if the Wi-Fi fails, data is stored in the on board memory and is transferred automatically the next time the Inline Strand Checker is used.

Additionally there is the possibility to transfer the measurement results by cable.

On the evaluation PC all measurements are stored in a database.

**Client Server Architecture**

The PC where the Inline Strand Checker database is running is working as a server.

On all PCs that have access to that database the Inline Strand Checker Analyzer can be installed to view the measurement results.

**Advantages**

- Robust sensors
- Measurement units are exchangeable
- Measurement every time when dummy bar insert
- Save time because no installation of measurement device necessary
- Better planning of segment maintenance
- Soonest possible detection of strand guiding failures

## Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level



**Adnan COSIC, Serkan ÖZDEMİR**

Primetals Technologies - Austria

### Abstract

Primetals Technologies is renowned for its customer-centric approach, and in an effort to further streamline the plant-management workflow, and as part of its ongoing strategy to embrace digitalization, a groundbreaking web platform has been introduced purely with the steel producer in mind: m.space conveniently delivers a growing number of features and services as a software as-a-service package in one place, enabling steel producers to operate more efficiently and stay ahead of the curve. It is designed first and foremost to be a user-friendly environment, at the heart of which is the steel producer of today.

Digitalization has impacted the steel industry on multiple levels while also creating unparalleled opportunities for improving plant operation and maintenance.

The m.space platform is firmly built on the premise to tap into the potential of Industry 4.0 and make the lives of steel producers easier. One of its many facets is the product catalog m.buy, which includes a web shop where customers can browse a large selection of spare parts. The m.academy training platform was created to encourage staff at all levels to keep their knowledge up-to-date through a range of e-learning and real-world training opportunities. Another feature of m.space is the secure document-management system m.doc, which centralizes the document management process. It doesn't end there, though, because m.space is a portal into a much wider world of e-services that can be configured by the customer in just a few clicks.

### Introduction

Maintenance is a serious issue. A well maintained machine, not only performs better but also has a lower risk of breakdown. Thus, steel plant operators have a keen interest in digitalizing their maintenance procedures in order to predict, plan and execute servicing of their machines in a more efficient way.

The actual time service technicians spend directly on maintenance, e. g. exchanging a broken part with a functional one, is significantly lower than the time spent on complementary processes around the actual maintenance job. Activities such as searching for the manual, finding the right spare part or simply documenting maintenance work often take more time than actually repairing a machine. You can compare this imbalance between the time spent on complementary processes and actual maintenance activities with an iceberg, where only a small part is visible above water, while the majority of it is hidden underneath the surface of the ocean.

The Primetals Smart Maintenance concept covers all activities around maintenance. For this purpose Primetals has developed eight powerful tools to support customers with digitizing and digitalizing their processes. These tools are called eServices and are conveniently delivered to all clients via a convenient web platform, thus available from any place at any time. eServices are all about connectivity. They act as an catalyst for connecting the shop floor with the top floor (production level with planning and business level) as well as connecting steel plant operators with Primetals.

### M.buy webstore for steel producers



m.buy is a comprehensive online catalog of spare parts for Primetals Technologies equipment, including related product drawings and blueprints. Users simply log in for a personalized user experience, which then enables them to

browse through the catalog, request quotations, read through the available engineering-related information, and start the inquiry process quickly and easily. These inquiries as well as other customer questions will be quickly answered by the experienced m.buy team.

[www.meta.ls/mbuy](http://www.meta.ls/mbuy)

### M.academy online training platform



m.academy is an e-learning space that offers both online courses as well as on-site training opportunities for steel plant operators. It provides worldwide classroom training, practical training, process training, e-learning, and individual training.

Courses can be tailored to individual requirements for maximum personal benefit. m.academy is the perfect knowledge-sharing platform and is designed to help staff sharpen their skills and keep their career development on track.

[www.meta.ls/academy](http://www.meta.ls/academy)

### M.doc document-management system



m.doc is a document-management service for storing the technical documentation of a steel plant. The m.doc documentation system provides reliable, fingertip access to critical information, and because the data is centrally organized and ready for use,

the time, cost, and energy saved in being able to quickly navigate through a wealth of information can make all the difference in terms of keeping ahead of the competition

[www.meta.ls/mdoc](http://www.meta.ls/mdoc)

### M.crane automated engineering service



m.crane is an automated web-based engineering soft-ware that allows a customized hoisting drum to be designed in a matter of minutes by entering parameters such as lifting weight, height, speed, and ropedrive. Every aspect of the design process is covered, and

once the parameters have been entered m.crane is capable of calculating and designing the drum in less than fifteen minutes. m.crane is designed to save time and money when replacing hoisting drums.

[www.meta.ls/mcrane](http://www.meta.ls/mcrane)

### M.fleetguard condition monitoring and GPS tracking



m.fleetguard is a software-as-a-service solution that monitors technical parameters of all your vehicles in real time and gathers information such as whether a truck is currently operational, its location, tire pressures and lifecycles, fuel

and oil levels, payloads, and even the road conditions. m.fleet guard sends alerts whenever a scheduled route is changed, or if a technical problem is detected, so that preventive action can be taken before damage occurs.

[www.meta.ls/mfleetguard](http://www.meta.ls/mfleetguard)

### M.connect process-analysis solution



m.connect is designed to make sense of even the most complex plant data, gathering unorganized data, analyzing it, and transforming it into structured information. m.connect turns raw data into an asset that a steel plant can

put to good use. For example, seemingly random measurement signals can be put together with production figures to paint a bigger picture that indicates quite clearly where improvements can be made

[meta.ls/mconnect](http://meta.ls/mconnect)

**M.ario augmented reality for the mill**

m.ario is an augmented reality enhanced document-management software designed to collect, organize, and visualize operational information in a uniquely structured way for unparalleled usability. Using

augmented reality, m.ario visualizes data such as voltages, for example, precisely where it is needed on a mobile device such as a tablet. The m.ario data management system is designed to streamline and increase the efficiency of maintenance and operations.

[www.meta.ls/mario](http://www.meta.ls/mario)

**M.predict predictive-maintenance system**

m.predict uses sophisticated vibration-signature analysis for the early detection of developing equipment faults, enabling steel producers to act quickly and avoid unscheduled downtime or worse. m.predict is the culmination of decades of experience in vibration-based

condition monitoring and analysis. To identify potential problems, it combines the analysis of mechanical vibration signatures with deep knowledge about equipment design and function.

[www.meta.ls/mpredict](http://www.meta.ls/mpredict)

**Big Data Analytics and Process Optimization**

**Didier MORICE<sup>1</sup>, Roelf Janse van RENSBURG<sup>2</sup>, Cesar MELENDEZ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>CTO of AST Technology, <sup>2</sup>CMO of ALTech Group, <sup>3</sup>CMO of ALTech Group - Switzerland, South Africa, Mexico

**Abstract**

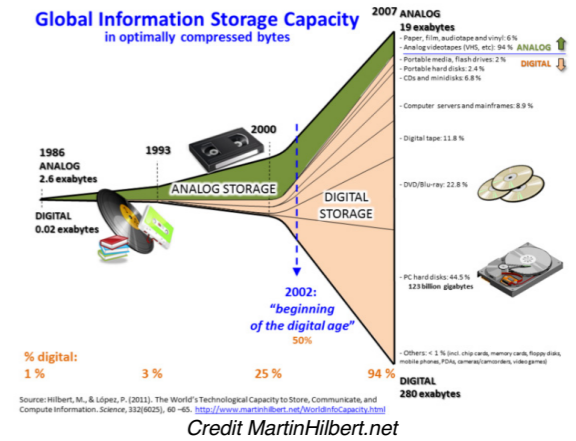
The modern steel plant is a far cry from steel plants of the previous century. Although the processes haven't changed that much from a metallurgical point of view, the implementation, of sensors, PLC's SCADAs and other process control technologies have meant that there is an abundance of detailed information about the process that have not been in the past. It is indeed now the case that there is so much data generated, that the current resources available to steelmakers cannot handle it appropriately. Over the last decade however a new technology called BDA have come to the forefront that can solve this analysis paralysis conundrum that complicated systems face. AST-BDA is passionate about applying these tools and techniques, through the unique AST-BDA coaching methodology, in the industrial-, and more specifically the steelmaking environment, for the benefit of steelmakers. This paper will help the reader to understand how to optimize the process with BDA and find his/her path in a new era of improvement (predictive maintenance, productivity, cost and quality), toward the age of artificial intelligence.

**1. Introduction**

Through technological advancement and digitization, the amount of data that is generated by plants, through the monitoring of processes have grown exponentially. This data is generated by sensors monitoring every possible aspect of processes, analysis of products throughout the various stages of the many processes in a modern plant. These values which are fed into PLCs and SCADAs are combined with more data from operating and control signals, ending up as vast databases on ever increasing storage servers. More data has always been seen as a good thing, but there is a tipping point. Traditional statistical methods are still and will probably always be mathematically sound to parse out value from data, but it becomes a virtual impossibility to use traditional statistical methods when patterns are sought amid hundreds of input variables with thousands of data points. Truly massive amounts of data have been colloquially referred to as Big Data(Oracle.com)<sup>1</sup>.

**2. Big Data History and concept**

But what is Big Data really and how can the problem it presents be addressed? The origin of what Big Data is widely debated, but for practical purposes the modern definition can be traced back to 1997 in a NASA paper by Cox and Ellsworth(Wu, et al<sup>2</sup>),.



At the time Big Data was defined as reaching or extending the limits of available computing resources (disk sizes, memory capacities etc.). Of course, resources increase over time, and while this original definition still holds true the definition of Big Data also had to be more formalized.

**2.1 What is Big Data?**

So, let's introduce what big data is. There are two popular definitions of big data. The first is what Gartner<sup>3</sup> said.

Big data requires a new processing mode in order to have stronger decision-making, insight, and process optimization capabilities to adapt to massive, high growth rate and diversification of information assets.

This concept expressed a very important meaning. Big data has now become an information asset. In the era of big data, we need new processing models to process these information assets. Because the original processing mode cannot deal with these data within the required time or accuracy requirements. Another concept is summarized from the characteristics of big data. McKinsey<sup>4</sup> summarized the four characteristics of big data with massive data scale, fast data flow, diverse data types, and low-value density. That is what we usually call the 4V characteristic of big data. In fact, during the past years the definition itself moved from 3V's to 6V's definition (most common in 2022).

### Big Data Definition


There are way too many definitions on big data, almost everyone is talking about big data. The primary idea behind big data is that "(Almost) everything we do nowadays are leaving digital footprints and tracers (i.e. data) which can be used for analysis.

Some examples of big data:

- Analyzing **medical record** to prevent epidemic.
- Analyzing transport and traffic records to optimize **traffic flow** (think Waze).
- Data modelling for **Prediction and Personalization**.

The not so obvious big data:

- Analyzing your **writing style**, browsing pattern to identify your personality.
- Study **web log** to analyze your shopping preference.
- Analyzing your **typing speed** to identify your character.



Credit Dr Lau Han

### The six Vs of big data

Big data is a collection of data from various sources, often characterized by what's become known as the 3Vs: volume, variety and velocity. Over time, other Vs have been added to descriptions of big data:

VOLUME	VARIETY	VELOCITY	VERACITY	VALUE	VARIABILITY
The amount of data from myriad sources.	The types of data: structured, semi-structured, unstructured.	The speed at which big data is generated.	The degree to which big data can be trusted.	The business value of the data collected.	The ways in which the big data can be used and formatted.

Credit Techtargot.com



Credit Microsoft Azure

In 2001 the concept of 3V's were formalized for the Big Data by Laney<sup>3</sup> for Gartner in 2001, after the rise in e-commerce activities, he found that data has grown along three dimensions, namely:

- Volume**, the first V is a large amount of data, so in the era of big data, the magnitude of the data to be processed is very large. Currently, this magnitude is usually used for data analytics and mining on the terabyte level.
- Velocity**, which represents the pace of data used to support interaction and generated by interactions. It is also called fast processing speed. It used to take weeks, months, or even longer to process the data to get the results, but now we need to get the results in a shorter time, such as minutes or even seconds.
- Variety**, which signifies the variety of incompatible and inconsistent data formats and data structures. The data that we could process before was usually structured, that is, two-dimensional tables. But in the era of big data, more diverse data types need to be processed, there are structured, unstructured, and semi-structured data. These data must be processed separately or even mixed by big data technology

This concept was later added upon by IBM with a 4th V (Zikopoulos et al<sup>5</sup>)

- Veracity** implies uncertainty of the data. What veracity said is that the value of commercial value is high or more real, that is, the value of the data that is mined is very high, whether it is directly decisive for our decision-making, insight, or process optimization. So it's more straightforward.

For the sake of maximizing the business value, Microsoft extended Douglas Laney's 3Vs attributes to 6 Vs (), which it added Variability, Veracity and Visibility:

- Variability** refers to the complexity of data set. In comparison with "Variety" (or different data format), it means the number of variables in data sets.
- Visibility** emphasize that you need have a full picture of data to make informative decision.

These 3-6V characteristics of big data tell us that today's big data refers not only to data but to data plus a series of processing techniques. We need to find and mine the part of data that is valuable to our work in a very short time from a large amount of data so that we can make decisions or optimize for the work (Aparna et al<sup>6</sup>). The whole process is called big data.

### 3. BDA with machine learning (ML)

In July 1959 Arthur Samuel<sup>7</sup> published "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers" In this work Samuel demonstrated that machines can learn from past errors — one of the earliest examples of non-numerical computation. This was the first instances of the principles of machine learning to perform tasks.

Since 1950s, there have been many functional definitions of ML(Buyya et al<sup>10</sup>). Different authors would emphasize different aspects of machine learning, such as process, application and utility. For example, Christopher M. Bishop<sup>8</sup> on the other hand, stressed the function of pattern recognition. Nisan and Schocken<sup>9</sup> argued that ML could turn abstract thoughts into physical operation. Machine Learning is deciphering patterns and using that pattern recognition to predict future values (Theobald<sup>11</sup>).

According to these elements, we can find that fundamentally, ML is "an outgrowth of the intersection of computer science and statistics, that aims to automatically learn to recognize complex patterns and make intelligent decisions based on existing data sets (Liu et al<sup>12</sup>). Another way to restate that is Machine learning is turning data into information (Harrington<sup>13</sup>)

### 4. BDA and Cloud Computing

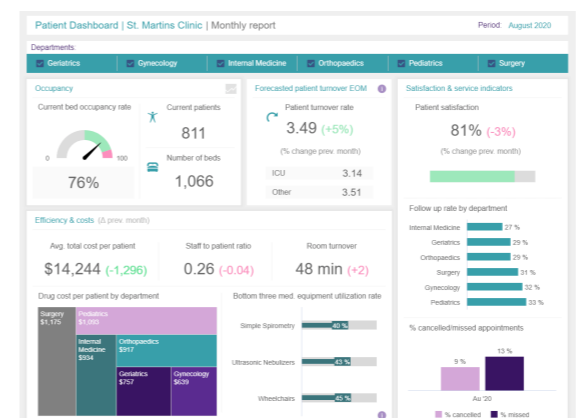
As it was already defined that Big Data can be defined in terms of being bigger than normal IT resources, cloud computing presents a cost-effective way to handle Big Data and BDA. Cloud computing is defined as the delivery of computing services over the internet to offer faster innovation, flexible resources, and economies of scale (Microsoft Azure<sup>14</sup>). According to cloud computing benefits include cost savings, increased productivity, speed and efficiency, performance, and security (Investopedia<sup>15</sup>).

### 5. BDA use in general applications

**Sport analytics** is a leading field in BDA, due to the amount of data that can be acquired in sports, the amount of attention given to it and the associated monetary values that come with that. In the article "Why sports still leads the analytics revolution" (MIT Sloan<sup>17</sup>), it is claimed that sports still lead other industries in data analytics, because of the competitive nature of sports analytics, because teams have a constant need to one-up each other. Athletes can use analytics to identify areas of improvement, or teams can use it for a competitive edge. The benefit in sports are more clearly defined goals, but also more clearly defined problems and challenges.

Another industry where BDA is used to good effect is the **food industry**. Given the size and importance of this industry it is no surprise that there is an overabundance of data generation. According to (Wired<sup>19</sup>) BDA is used for anything from AI generating recipes to restaurants using BDA(Byteant)<sup>18</sup> to optimise processes by identifying best practices. And that the cloud is making BDA more accessible to smaller entities as well. In a review of big data in food safety (Jin et al<sup>20</sup>) found that BDA is implemented in food supply chain, to develop applications and procedures that help to increase food safety due to better decision making.

**Big data in healthcare** is used to handle massive volumes of information created by the adoption of digital technologies that collect records and assist in managing hospital performance, otherwise too large and complex for traditional technologies (Datapine.com<sup>21</sup>).



Credit Datapine.com

The application of big data analytics in healthcare has a lot of positive and also life-saving outcomes. In essence, the vast quantities of information created by the digitization of everything, that gets consolidated and analysed by specific technologies. Applied to healthcare, it will use specific health data of a population (or of a particular individual) and potentially help to prevent epidemics, cure disease, and cut down costs, etc.

Necessitated by longer lifespans, treatment models have changed and many of these changes are driven by data. Doctors want to understand as much as they can about a patient and as early in their life as possible, to pick up warning signs of serious illness as they arise – treating any disease at an early stage is far more simple and less expensive. By utilizing healthcare KPI's and healthcare data analytics, prevention is better than cure, and managing to draw a comprehensive picture of a patient will let insurance provide a tailored package.

Historically gathering huge amounts of data for medical use has been costly and time-consuming. With always-improving technologies, it becomes easier not only to collect such data but also to create comprehensive healthcare reports and convert them into relevant critical insights, that can then be used to provide better care. This is the purpose of healthcare big data analytics: using data-driven findings to predict and solve a problem before it is too late, but also assess methods and treatments faster, keep better track of inventory, involve patients more in their own health, and empower them with the tools to do so.

The use of BDA, and Machine learning has been in use for a long time in certain fields of diagnostic medicine. In 2001, Jim Haxby brought machine learning to brain imaging: he realized that voxels of neural activity could serve as dimensions in a kind of thought space(New Yorker<sup>16</sup>). The machine learning gave a method to interpret the massive amounts of data generated by f-MRI machines to give doctors sensible diagnostic information.

### 6. AST BDA examples of problem solutions and improvements/ Experience

The first improvement you can expect from a AST BDA project is the **efficiency of your teams regarding data collection**. The data necessary for most of analysis are located in various sources like SAP, LIMS, SCADA, Historian... and even excel files. It is usually admitted that 50 to 60% of the time needed for a six-sigma project is related to data collection and preparation, one of our customers (steel maker linked to Aeronautics industry) claimed that R&D / Process engineers were spending up to 85% of their time in data collection... WHAT A LOSS OF TIME!!! Investing in a data lake where data are automatically linked together and enable your teams to analyse and solve 2 to 5 times more problems.

#### 6.1 This is the first step of any AST-BDA project.

When connecting the data together, comes the most important point of the data analysis in the process: Time Lag. The key of a good and efficient data lake is to be able to connect final properties of a product, with process data that

occurred minutes, hours or months before when the product was processed at its early stages.

At a customer shop, they are making Titanium pieces with a process time of 1 month. The first step is machining sketches using carbide inserts. These inserts were re-sharpened twice after x pieces machined. We made a link between some out of control tolerances measured with a 3D machined at the end of the process (1 month later) and re-sharpened carbides... progressively they moved to making 3 times more pieces with non-resharpened inserts and stopping re-sharpening process. This for sure saved the cost of re-sharpening but also decreased the out-of-control tolerances by more than 5%.

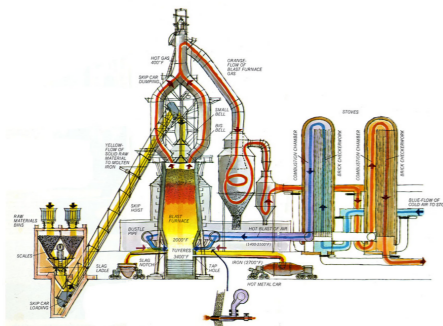
### 6.2 Traceability to connect data from different steps of the process is a key of an AST-BDA Project implementation.

Our data lake is now implemented and fed with hundreds of parameters along the process, we can start to analyse big Data.

**Most of the time, the improvement you will find are quite unexpected**, because most critical parameters are well known and under control. Indeed you can significantly improve your process.

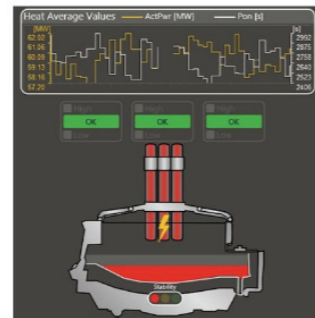
In a FeMn Smelter, they had a significant safety issue because of regular blows occurring (several times per week) during the process, analysing more than 200 Product and process parameters, AST-BDA together with the process engineer find out that of one of the raw materials was detrimental. Limiting the authorised amount of this RM led to more than 6 months without incident.

In another plant, preparing Iron ore for Blast furnaces, (more than 1500 parameters in total) we surprisingly found that the amount of a Raw material (RM) available in the silo was clearly linked to productivity?!? This RM was considered as not process significant and consequently his process not clearly under control. It was not in the list of data implemented in the project at first... After some new data implementation related to this simple crushing/screening process, we found out that when the silo was low, operating parameters were pushed out of recommended limits to refill the silo faster. Practices were reinforced in control room and main line production increased by 3%.



Credit Steelmuseum.org

**6.3 Another key point of AST-BDA is to be able to implement "smart data".** "smart data" data calculated from various sources of data to link process data with plant KPI. In a steel plant we run an analysis to reduce electricity consumption of the EAF. After implementing the findings, electricity consumption is reduced in line with expectations (> 100 000 \$ per year). Unfortunately, this improvement was not visible by the Plant manager on the P&L. We have then created a "smart data" reflecting the P&L. After some new analysis, the improved solutions went with increased Electrical consumption, decrease of O<sub>2</sub>, and improved combination of scrap. In fact the key was a decrease of Slag leading to Yield improvement and saving in the range of 1 Million \$.



Credit Recyclingtoday.com

### 6.4 Ultimately, any plant manager would like the process to anticipate variations



Credit Dreamstime.com

In a Paper plant with several paper machines consuming LOT of steam supplied by 3 boilers. Grouping and analysing the data of all independent machines in a kind of meta-analysis to predict steam consumptions, we find out that few parameters of each machine were indicating the amount of steam consumption in the coming 30 min. This time was long enough to make the start/stop decision for a boiler. Implementing this automated decision process in the boiler's control room saved 7% gas consumption through optimum usage of each boiler.

As we just saw above, there are many ways to take advantage of your AST-BDA project, it is related to your own strength/weaknesses and your objectives. AST-BDA coach will always support your teams to find your path through this infinite number of opportunities.

## 7. Conclusion

In conclusion BDA is solving the problem of massive amounts of data gathered in modern systems to the improvement of processes and interactions. Although it is pretty new, it is finding space in many industries. This is done by using machine learning software and cost-efficient cloud-based solutions. AST-BDA is primed to deliver these solutions not just as a product, but to make it part of the culture and DNA of every customer.

## 8. AST BDA coaching solutions

AST BDA provides a cloud-based solution for clients in three tiers.

### 8.1 Base Solution

Consultancy service.  
Data collection of existing or new data  
Analysis of your data and process by our experts  
Propose solutions to solve issues or improve some KPI

### 8.2 Advanced Solution

Analytics software

Base solution plus:  
Install the BDA software  
Configure data warehouse based on business context  
Implement autonomous data transfer  
Train your team for BDA software usage

### 8.3 Ultimate Solution

Coaching

Advanced solution plus:  
Organise regular team meetings with your people to improve your process  
Change the way of problem solving for better efficiency  
Use Big data to move from firefighting to anticipation  
Improve the problem-solving capacity of your team  
The coaching solution is unique to AST BDA

## References

- [1] Oracle Cloud Infrastructure <<https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>>
- [2] Wu, Caesar & Buyya, Rajkumar & Ramamohanarao, Kotagiri. (2016). Big Data Analytics = Machine Learning + Cloud Computing. ResearchGate. <[https://www.researchgate.net/publication/290527153\\_Big\\_Data\\_Analytics\\_Machine\\_Learning\\_Cloud\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/290527153_Big_Data_Analytics_Machine_Learning_Cloud_Computing)>
- [3] Douglas Laney, 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety, Application Delivery Strategies, Meta Group (acquired by Gartner), 6 Feb 2001, pp 1-4.
- [4] McKinsey and Company. <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-big-data-can-improve-manufacturing>>
- [5] Paul C. Zikopoulos et al., Harness the Power of Big Data, The IBM Big Data Platform, McGraw-Hill, 2013
- [6] Medha Aparna, Ayush Gupta, Nikhil Atkuri, Rishab Jolly, & Ankit Goel SlideShare from Scribd. <<https://www.slideshare.net/NikhilAtkuri/big-data-in-manufacturing-final-ppt>> published April 2016
- [7] Samuel A IBM *Journal of Research Development* 3 (1959) no. 3, 210-29.
- [8] Christopher M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.
- [9] Noam Nisan and Shimon Schocken, The Element of Computing Systems Building a Modern Computer from First Principles, MIT press 2005, pp 57-58
- [10] Big Data Principles and Paradigms, First edition Edited by Rajkumar Buyya, Rodrigo Calheiros and Amir Vahid Dastjerdi Elsevier Science 2016
- [11] Machine Learning Absolute Beginners Introduction 2<sup>nd</sup> Edition. Oliver Theobald. 2017
- [12] Xin Liu et al, Computational Trust Models and Machine Learning, CRC Press, 2015.
- [13] Peter Harrington, Machine learning in Action, Manning Publications, 2012.
- [14] Microsoft Azure, <<https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/>> accessed 2022/03/20
- [15] Investopedia, Cloud Computing by Jake Frankenfield <<https://www.investopedia.com/terms/c/cloud-computing.asp>> Updated July 28, 2020
- [16] New Yorker Magazine. <<https://www.newyorker.com/magazine/2021/12/06/the-science-of-mind-reading>>
- [17] MIT Sloan Review. <<https://sloanreview.mit.edu/audio/why-sports-still-leads-the-analytics-revolution/>> published July 7, 2020
- [18] ByteAnt <<https://www.byteant.com/blog/how-big-data-is-boosting-food-industry-the-best-examples/>> published October 2020
- [19] Wired Magazine. <<https://www.wired.com/insights/2014/02/big-data-revolutionizing-food-industry/>> accessed 28 Feb 2022
- [20] Cangyu Jin, Yamine Bouzembrak, Jiehong Zhou, Qiao Liang, Leonieke M. van den Bulk, Anand Gavai, Ningjing Liu, Lukas J. van den Heuvel, Wouter Hoenderdaal, Hans J. P. Marvin, Big Data in food safety- A review, Current Opinion in Food Science, Volume 36, 2020, Pages 24-32,



published October 2020 ISSN 2214-7993,

<<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.006>>

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799320301260>>

[21] 18 Examples of Big Data Analytics in Healthcare That Can Save People. <<https://www.datapine.com/blog/big-data-examples-in-healthcare/>> published October 2020

## Investigation of Molybdenum Disulfide and ZDDP on Different Properties of Calcium Sulfonate Complex Greases

Kalsiyum Sülfonat Kompleks Greslerin Farklı Özelliklerine Molibden Disülfür ve ZDDP Etkisinin İncelenmesi



Sevda ŞAHAN Ece KORKUT, Semih KOÇ

Petrol Ofisi Teknoloji Merkezi (POTEM) - Türkiye

### Abstract

Kalsiyum sülfonat kompleks greslerin çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Bu gres tipi mevcutta çok iyi suya dayanım ve yük dayanım performans özellikleri sergiler. Bu çalışmada iki farklı katık tipinin kalsiyum sülfonat kompleks greslerin farklı özelliklerine etkisi incelenmiştir.

### Özet

Calcium sulfonate complex greases have common usage at different industrial areas. These greases have already good performance properties especially in water resistance and weld load and weld scar diameter tests. In this study we investigated effect of two different commercial and common additives on different properties of calcium sulfonate complex grease.

### 1.Introduction

#### 1.1 Grease

Grease is composed from three basic components which are: 1. soap (thickener), 2. base fluid/oil and 3. performance additives.

1. Soap of grease forms its main skeleton. Soap microstructure is very important to performance of grease.
2. Base fluid/oil is important to lubricity properties of greases. Changing the base fluid/oil properties like blend viscosity, base oil/fluid type etc. can be effect the lubricity properties of greases.
3. Additives are important to field and lab scale performance properties of greases. Addition of different types of additives and different types of packages can improve some properties of greases and also they can be damage some properties of greases. [1] Some additives can be show antagonistic effect with each other, some are aganostic and some are synergistic. It depends on case to case and ingredient to ingredient. [12]

### 1.2 ZDDP

ZDDP is one of the most common lubricant additive components. It is relatively cheap and it is generally multipurpose. Most of the extreme pressure and antiwear additive packages in lubricant industry includes ZDDP. One of the basic purposes of ZDDP is improving wear performance and the other is improving load carrying performance of lubricants.[1]

Most of the commercial additive packages used in lubricant industry includes ZDDP and other ingredients according to their purposes and claims.

Extreme pressure additives like ZDDP work on contact surface to react and occur protecting film layer at metal-metal lubrication surface.[1] [11]

[11] Ph. Kapsa et al studied and showed that ZDDP and calcium sulfonate detergent in engine oils shows an antagonistic effect to each others performance with the overbased calcium sulfonate used.

Muhannad A.R. Mohammed [1] studied and reported that different types of greses and different characteristics of greases effect differently from extreme pressure additives.

### 1.3 Molybdenum disulfide

Molybdenum disulfide is one of the most effective solid lubricant for improving the extreme pressure and antiwear properties of greases. It is also known as filler and also as solid lubricant. [10] One of the major advantages of molybdenum disulfide according to other extreme pressure-antiwear agents is that it can be work under high temperature conditions like 400 Celsius degree. [1] Molybdenum disulfide also works like corrosion and rust inhibitor. [1] Addition of molybdenum disulfide on calcium and calcium sulfonate complex greases (CaSC greases) is a common fenomen on commercial products.

Muhannad A.R. Mohammed [1] studied and reported that different types of greses has been reported that wear characteristics become better with molybdenum disulfide.

The aim of this study is to investigate the molybdenum disulfide and ZDDP based extreme pressure additive packages on general properties of calcium sulfonate complex soap greases (CaSC greases) especially flow and weigh load performances.

## 2. Experimental studies

The grease used in this study is produced at our laboratory with a classified formulation. The grease used in this study is a calcium sulfonate complex soap grease.

All the tests are performed at Petrol Ofisi Technology Center (POTEM).

ZDDP based package additive used a commercial brand.

Molybdenum disulfide used a commercial brand with 1-10  $\mu\text{m}$  particle size.

### 2.1. Experiments

#### Penetration

Cone penetration test measures the consistency of the grease. Test method lies on the dropping of standart cone onto the smooth surface of sample and measuring the distance that standart cone takes through the sample. Higher values mean the standart cone has been through more distance in the sample which means sample has lower consistency and lower NLGI grade. Lower values mean the standart cone has been through less distance in the sample which means sample has higher consistency and higher NLGI grade. Penetration value of greases have been identified with ASTM D217 standart cone penetration test method. Standart cone penetration equipment showed at figure-1. In this study Anton Paar branded PNR 12 model penetration measuring equipment used.



Figure 1. Penetration measuring test device

As grease worker Stanhope Seta branded equipment used which is shown at figure-2. Worked penetration test results are reported with 60 stroke working.

Grease penetration depends on the temperature of the test and working field. At very high working temperatures that's why the boundry film thickness will decrease. [10]

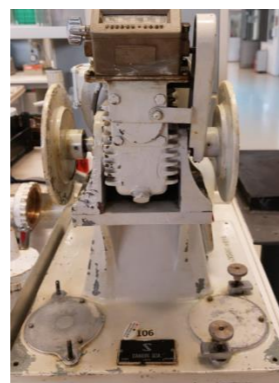


Figure 2. Grease worker test device

#### Four ball wear diameter

Four ball wear diameter test results are represent the wear preventing characteristics of the sample at frictioning steel surfaces. Higher four ball wear diameter test results mean using mentioned sample will cause steel-steel surfaces wear more and similar way lower test results mean using mentioned sample will cause steel-steel surfaces wear less. Four ball wear diameter test performed according to ASTM D2266 standart test method. [3] Stanhope Seta branded 19800-5 T model four ball test equipment used in this experiment which shown at figure-4.

Wear diameters are measured with a Mitutoyo branded TM series microscope which shown at figure-3.



Figure 3. Microscope

#### Four ball weld load

Four ball weld load test results are represents the load carrying capacity of grease samples on steel-steel surfaces. Test results are reported as kg of load which are applied and pass the test. Higher test results mean the extreme pressure load carrying capacity of the grease sample is better and

lower test results are mean that the extreme pressure load carrying capacity of the grease sample is worse. [4] Stanhope Seta branded 19800-5 T model four ball test equipment used in this experiment which shown at figure-4.



Figure 4. Four ball test device

#### Water spray

Water spray test method has been applied according to ASTM D4049 test method. Test method represents the adhesion ability of the grease sample to the steel panel under pressurized water and constant temperature. Reports are represents remaining the weight of grease sample on steel panel after test application. Higher test results mean the sample has more adhesiveness ability to the steel surface and lower test results mean the sample has less adhesiveness ability to the steel surface. [5]

Koehler branded K18295 model water spray test device used in this study which shown at figure-5.



Figure 5. Water spray test device

In this study water spray off test results are reported as weight of grease sample which is loss during the test application.

#### Water washout

Water washout test has been applied according to ASTM D1264 standart test method. Water washout test represents the stability of the grease sample under constant temperature and constant pressurized water in rolling bearings. Test results are reported as percentage weight lose of the grease sample during the experiment. Higher test results mean the washout stability of the grease is worse and lower test results mean the washout stability of the grease sample is better. [6] Koehler branded K19295 model water washout test device used in this study which shown at figure-6.



Figure 6. Water washout test device

#### Dropping point

Dropping point is the temperature that grease sample firstly dropped at constant conditions and specific equipments. This test method covers not exactly the working temperatures of the tested sample but gives an idea about the working conditions of the grease sample. Dropping point test has been applied according to ASTM D2265 standart test method. Higher test results mean the sample could be worked under higher operating temperatures and lower test results mean the sample could be worked under lower operating temperatures. [7] Koehler branded K19410 model dropping point test device used in this study which shown at figure-7.



Figure 7. Dropping point test device

**Oil bleeding**

Oil bleeding of the grease samples are tested according to the ASTM D1742 standart test method. The test method represents the oil separation from the lubricating grease during storage. Test method reports at constant temperature and pressure. Generally a small amount of oil separation is preferable in greases for efficient lubrication but higher results negatively effect the storage oil separation of lubricating greases. [8]

**Color**

Color of the grease evaluated by visual appearance. Some additives and especially solid lubricants like molybdenum disulfide can change the color and/or visual appearance of lubricating greases.

**Grease mobility**

Application of grease mobility test method is including the cooling the test sample until a constant temperature and measuring the mobility ability of the sample at this temperature. Grease mobility test results are reported as g/min. Test method measures the weight of test sample which moves in 1 minute at test temperature. Test method represents the flow resistance of test sample under constant temperature and pressure. [9] Koehler branded K22685 model grease mobility test device used in this study which shown at figure-8.



Figure 8. Grease mobility test device

This test method is an ASTM Draft method. That's why there are not so much study which includes the mobility of the greases. There are lots of things that could be effect the grease's cold mobility. Those are: Base oil properties, additives, microstructure of the grease, polymeric ingredients etc..In addition to these, cold mobility of different type of greases could be affected differently with all those parameters.

**Copper strip corrosion**

Copper strip corrosion test has been applied onto greases at 100°C test conditions during 24 hours. After the test duration

copper strips has been cleaned and evaluated accordig to the copper strip test scale referances. [13]

**2.2. Experimental design**

At this study calcium sulfonate complex greases (CaSC grease) are used. All grease samples which are used in this study are formulated by Petrol Ofisi Technology Center (POTEM) and produced in 3 different ways.

1. Calcium sulfonate complex grease produced without any extreme pressure and antiwear agent
2. Calcium sulfonate complex grease produced with ZDDP based extreme pressure additive package with three different ratios 1 %, 3 % and 5 %.
3. Calcium sulfonate complex grease produced with molybdenum disulfide with three different ratios 1 %, 3 % and 5 %. Sample properties are detaily showed at table 1.

Table 1. Sample properties

Sample ingredient	1	2	3	4	5	6	7
CaSC Grease	100	99	97	95	99	97	95
ZDDP		1	3	5			
MoS2					1	3	5

Worked and unworked penetration, four ball wear diameters, four ball welding loads, water spray off performances, water washout performances, dropping points, oil separations, colors and grease mobilities and copper strip corrosion performances of 7 different samples has been tested and reported.

**3. Result and discussion**

Consistency test results for worked and unworked penetration are shown at figure-10 and figure-11.

According to unworked penetration test results; Unworked and worked penetration test results are tend to decrease with increasing ZDDP additive package ratio. The distance that the penetration cone got through inside the sample decrease means that the ZDDP additive package make increase the NLGI grade and the consistency of CaSC grease sample. Molybdenum disulfide effects in a different way on penetration test results. 1 % ratio of MoS2 makes a small decrease in the unworked and worked penetration test results of the grease, 3 % ratio of MoS2 makes small increase in the unworked and worked penetration test results of grease and % 5 ratio of MoS2 makes decrease in the unworked and worked penetration test results of CaSC grease sample. All this increasing and decreasing phenomenon on penetration test results can be explained with penetration test repeatability for 1 % and 3 % ratios. After 5 % ratio MoS2 increases the consistency of CaSC greases.

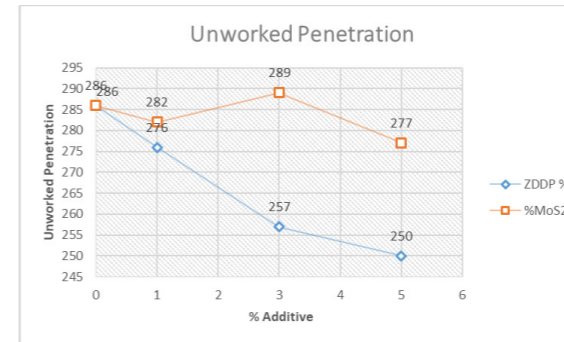


Figure 10. Unworked penetration results

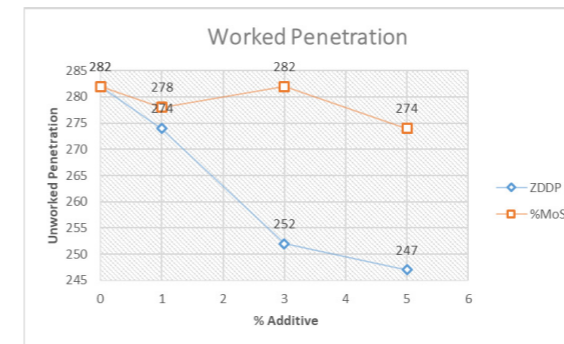


Figure 11. Worked penetration results

Consistency increase with MoS2 can be explained with the filling potential of MoS2 particles to the holes in the three dimensional network structure of the grease.

Consistency increase phenomenon with increasing ZDDP additive package can be explained with the polymeric ingredient of the additive package. Polymeric ingredients made the sample more rigid and standard cone could not get as long way as before through the sample.

Wear scar diameter test results showed that both ZDDP additive package and MoS2 in different ratios tend to decrease the wear diameter of CaSC greases. These test results could be explain as: both additives succesfully made the surface film layer on the steel balls and decrease the friction between two steel metal surfaces.

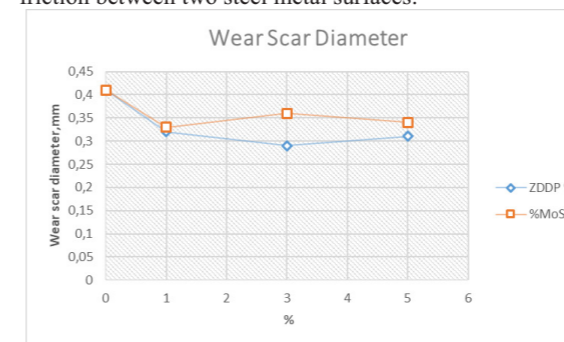


Figure 12. Wear scar diameter results

ZDDP and MoS2 addition at 1% ratio on CaSC greases is effective to decrease the four ball wear scar diameter of greases. Addition of 3 % and 5 % ratios of both additives on CaSC greases do not make important changes in test results. After these two levels changes in test results has been reported at test repeatability repeatability levels.

Four ball weld load test results has been showed that CaSC greases have already good weld load capacity. That's why additives can not increase the weld load capacity of these products until some levels. Both ZDDP additive package and MoS2 has been worked like the same way. 1 % and 3 % percent ratios of additives could not affect the weld load capacity. 5 % ratio of both additives increased the weld load capacity of CaSC greases.

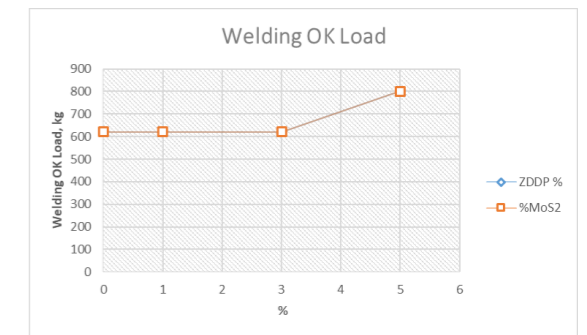


Figure 13. Welding OK Load results

Water spray off test results have unusual changes in this study. ZDDP package addition at 1 % ratio has been increased the water spray of weigh loss of the product. On the contrary 3 % and 5 % ratios have not cause a significant decrease at weigh loss test results. Repeat tests have been reported at the same way. This strange phenomenon can be caused from different reasons. One of them could be 1 % of ZDDP additive package could be act like just base oil and decompose the network structure of the grease. 3 % and 5 % ratios of ZDDP additive package could be enough for the product to show the effectiveness decrease the water spray of weigh loss of the grease. Despite that water spray of weigh loss of grease could not show a significant decrease with ZDDP additive package.

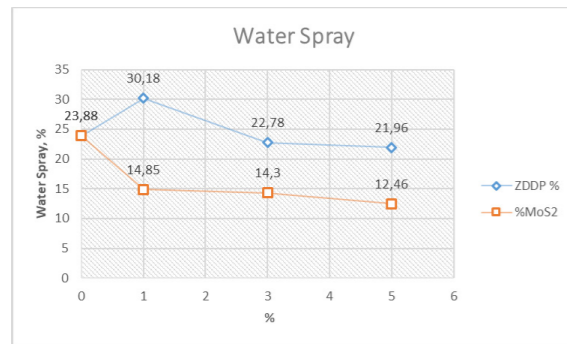


Figure 14. Water spray off results

According to water spray off test results MoS2 has a positive effect on the weight loss of CaSC greases. Even 1 % ratios test results have significant differences. This positive change could be cause from the MoS2's adhesion ability to the metal surface.

Water washout test results of the CaSC grease sample have two different phenomena with two different additives. ZDDP additive package has been decrease the water washout weight loss of the sample with directly related the increasing additive ratio. This phenomenon could be explained with the polymer ingredients of the additive package which could be increase stability of the sample on the rolling bear.

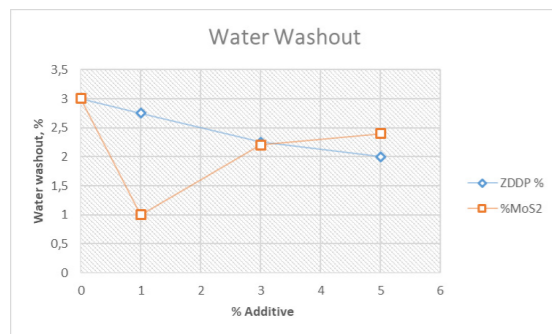


Figure 15. Water washout results

MoS2 additive has another phenomenon with CaSC grease. MoS2 has been decrease the water washout weight loss of the sample but according to test results this effect has an optimum point which related to the additive ratio. 1 % of MoS2 is the most effective ratio of MoS2 on water washout test results.

Table 2. Dropping point test results

Sample	1	2	3	4	5	6	7
Dropping point test results	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300

Dropping point of all the 7 samples have been investigated. But CaSC greases already have a good dropping point

property. That's why addition of any additive have not been affect the dropping point of the sample.

Table 3. Oil bleeding test results

Sample	1	2	3	4	5	6	7
Oil bleeding	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Oil bleeding property of all the 7 samples have been investigated. But CaSC greases already have good oil bleeding results. That's why addition of any additive in any ratio have not been affect the oil bleeding of the sample. Color of all samples has been examined and reported at figure-16. ZDDP additive package has not been affect the color of the grease samples but MoS2 changed the color of the samples from dark brown to black.



Figure 16. Color results

Cold mobility test results has been investigated and reported at figure-17. According to test results ZDDP additive package affect the CaSC grease's mobility similar to water spray off test results. 1 % of the additive has been increased the mobility ability of the grease. This test result also support the theory of 1 % ratio of ZDDP additive package act like just base oil at water spray off test results. On the other hand, for grease mobility test at -10°C base oil effect of the additive continued for 3 % and 5 % ratios but not as strong as 1 % for this test.

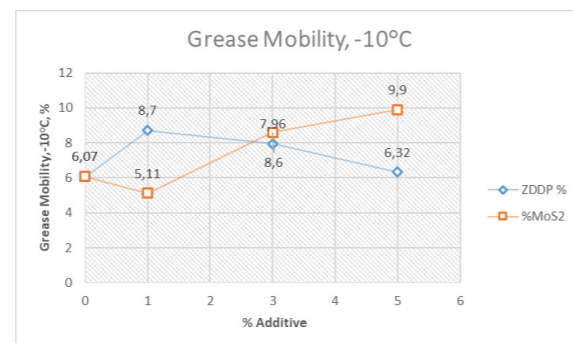


Figure 17. Grease mobility, -10°C

MoS2 additive has a different phenomenon on grease mobility test results of CaSC grease. The mobility of the CaSC grease has been decreased with 1 % ratio of MoS2 at -10°C. This could be cause from the adhesivity of MoS2 to the metal surface is the dominant effect at this ratio. Test results of 3 % and 5 % ratios are different from the 1 % ratio. 3 % and 5 % addition of MoS2 has been increase the mobility ability of the grease at both ratios. This could be cause from the MoS2 layer inside the three dimension network structure of the MoS2 add the mobility ability to the

grease. These test results are also similar to the water washout phenomenon of the sample.

Copper strip corrosion test has been performed at 100°C during 24 hours. According to test results MoS2 has positive effect on copper strip corrosion mechanism of CaSC greases. MoS2 has a positive effect on copper strip corrosion of the grease. This positive effect could be cause of the filling effect of the MoS2. In surface level MoS2 create a protective layer and protected the metal surface from the corrosion. Adversely, ZDDP additive packages shows an adverse effect on copper strip corrosion test performance of CaSC greases. Increasing ZDDP concentration inside the sample makes the test results worse. This test results showed that the corrosion on copper strip caused from the decomposition of ZDDP additive package ingredients.



Figure 18. Copper strip corrosion test results

Table 4. Copper strip corrosion test results

Sample	1	2	3	4	5	6	7
Copper strip test results	1B	2C	2C	4A	1B	1B	1B

Generally, ZDDP derivatives could be used corrosion inhibitors. Inside CaSC grease ZDDP additive package ingredients could be decomposed because of the long test duration and high temperatures.

#### 4. Results

According to the all test results and investigation our conclusions are:

1. ZDDP additive package tends to increase the consistency of CaSC grease. When using between 1 %-5 % ratios of ZDDP additive packages in CaSC greases consistency will be increase.
2. Using MoS2 in CaSC greases does not change the consistency of grease at 1 and 3 percent ratios. 5 % ratio of MoS2 could increase the consistency of CaSC grease.
3. ZDDP additive package and MoS2 both are effective ways to decrease the four ball wear diameter of CaSC greases with different ratios. Both additive has an optimum value for wear scar diameter test and after that ratio four ball wear diameter test results are same.
4. Addition of 5 % ratio of ZDDP additive package and MoS2 into CaSC greases increase the weld load of the

product. Ratios lower than 5 % do not work for increasing the four ball weld load.

6. ZDDP additive packages at small ratios have negative effect on water spray off test results. Despite that MoS2 has positive effect on water spray of test result at three different ratios.
7. ZDDP additive package decrease the water washout weight loss at three different levels. Despite that 1 % of MoS2 is the most effective ratio on water washout test results.
8. Because of the dropping point test results of the sample is already high enough addition of any additive at any ratio have not been affect the dropping point of the sample.
9. Because of the oil bleeding test results of the sample is already good enough addition of any additive at any ratio have not been affect the oil separation stability of the sample.
10. MoS2 changed the color of the samples from dark brown to black.
11. 1 % of the ZDDP additive package has been increased the mobility ability of the grease. The mobility of the CaSC grease has been decreased with 1 % ratio of MoS2 at -10°C. 3 % and 5 % addition of MoS2 has been increase the mobility ability of the grease at both ratios.
12. MoS2 has positive effect on copper strip corrosion mechanism of CaSC greases. Adversely, ZDDP additive packages shows an adverse effect on copper strip corrosion test performance of CaSC greases.

#### References

1. Mohammed, M. A. (September 2013). Effect of Additives on the Properties of Different Types of Greases. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, Vol.14 No.3 11-21.
2. D02, A. C. (May 1, 2017). D217 Standart Test Methods for Cone Penetration of Lubricating Grease. *ASTM International*, ASTM D217.
3. D02, A. C. (Dec. 10, 2001). D2266 Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Grease (Four-Ball Method). *ASTM International*, ASTM D2266.
4. D02, A. C. (May 1, 2020). D2596 Standart Test Method for Measurement of Extreme-Pressure Properties of Lubricating Grease (Four-Ball Method). *ASTM International*, D2596.
5. D02, A. C. (Dec. 1, 2016). D4049 Standard Test Method for Determining the Resistance of Lubricating Grease to Water Spray. *ASTM International*, ASTM D4049.
6. D02, A. C. (June 10, 2003). D1264 Standard Test Method for Determining the Water Washout Characteristics of Lubricating Greases. *ASTM International*, ASTM D1264.
7. D02, A. C. (May 1, 2020). D2265 Standard Test Method for Dropping Point of Lubricating Grease Over Wide Temperature Range. *ASTM International*, ASTM D2265.
8. D02, A. C. (May 1, 2020). D1742 Standard Test Method for Oil Separation from Lubricating Grease During Storage. *ASTM International*, ASTM D1742.
9. D02, A. C. (-). DXXXX-xx Standard Test Method for Measuring Mobility of Greases. *ASTM International*, ASTM Draft Method.

10. Dar Alsaadi, V. O. (January 2022). Improving the performance properties of greases. *ResearchGate*, 740-743.
11. Ph. Kapsa, J. M. (October 1981). Antiwear Mechanism of ZDDP in the Presence of Calcium Sulfonate Detergent. *Journal of Lubrication Technology*, Vol.103, 486-494.
12. MURPHY, S. F. (March 1963). EFFECTS OF ADDITIVES UPON GREASES. *Scientific Lubrication*, 153-168
13. D02, A. C. (July 1, 2019). D4048 Standard Test Method for Detection of Copper Corrosion from Lubricating Grease. *ASTM International*, ASTM D4048.

## Production Optimization Due to Real Time Information of Profile and Surface Defects on Rolling Products



**Johann PETERS**

LAP GmbH Laser Applikationen - Germany

### Abstract

This paper addresses the need of rolling mills, especially hot rolling mills, to produce high quality products under rising industrial challenges. By implementation of profile measuring gauges not only for process monitoring but for automated control, the product quality rises in terms of tolerance limits and root cause analysis for surface defects.

### Introduction

The metal industry, especially steel industry, faces challenges regarding delivery time, production costs and product quality driven by high requirements from e.g., the automotive industry [1]. One measure to address these challenges is striving for production automation with comprehensive understanding of material behavior under certain control action in the rolling production line of long products. Contactless inline measuring systems play a key role in production optimization.

Laser based systems are the solution for sound information about the product geometry and its surface condition with high accuracy. The detection of deviations of profile and surface, as well as the analysis of its source regarding the caliber is crucial for taking the right control actions in the rolling line. Smart evaluation and data processing allow real time detection of product parameters and the supply of significant details for the process control system and the operator, respectively. In times of digitalization the minimization of the time gap between detection and execution of a control action is tangible by automation.

### Challenges in Hot Rolling Mills

Hot rolling mills are the last production step to influence the product quality and production costs significantly [2]. Wear, damages, adhesive scale, and defects on the rolling caliber as well as production process condition changes like temperature changes, unforeseen production interruptions or strain variation at the caliber influence the quality of the rolled products. The consequences on the rolling product are profile deviations, breakouts, splitting and bursting, dents, scratches, and cracks [3].

Tight tolerance demands require shortest reaction time on production condition changes. Manual process

control for rolling mills is still common and results in challenges for product quality and production costs [4].

Especially in wire production mills the wire gets turned and twisted by usage of a layer head. This production set-up causes high difficulties to identify distinct caliber information to control the finishing block accurately.

### Laser Based Solutions

**Shadowing Systems.** The contactless measuring principle for shadowing systems is the shadowing principle. A laser scan is emitted and received in a single axis measuring range. An object in the measuring range interrupts the scan so that the size of the object can be measured by interruption time. Up to 6 axes can be used in a measuring range of 500mm and more in the LAP shadowing gauges CONTOUR CHECK ROUND & EDGE (figure 1). This system principle is already established for over 25 years on the market.

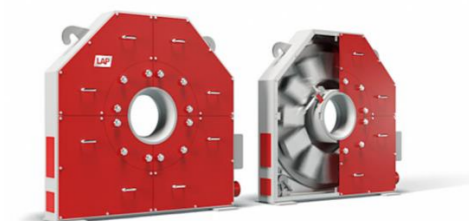


Figure 1: CONTOUR CHECK ROUND & EDGE system (Picture source: © LAP GmbH Laser Applikationen)

**Light Sectioning Systems.** The contactless measuring principle for the light sectioning systems is the triangulation principle with a laser line. A laser line is projected and traced by a camera in a certain measuring range. The laser line is distracted by income of an object and is detected as object profile information by the camera. The complete profile is measured by usage of at least 4 sensors in a measuring gauge. Up to 6 sensors in a measuring range of up to 900mm are used in the LAP light sectioning gauge CONTOUR CHECK SHAPE (figure 2).

In the application of profile measurement including the identification of rolling defects and rolling gap this system principle has been established since 2015. The

















Türk refrakter Sanayi'nin öncü kuruluşu  
**Kiltaş** olarak **44. kuruluş yılımızı** kutlamanın  
haklı gururunu yaşıyoruz.

Bizi bugünlere getiren  
müşterilerimiz ve  
çözüm ortaklarımıza  
şükranlarımızla...

PLASTİKLER • BETONLAR • İZOLELER • DÜŞÜK ÇİMENTOLU  
BETON • ÇOK DÜŞÜK ÇİMENTOLU BETON • ÇİMENTOSUZ BETON  
AKIŞKAN BETON • PÜSKÜRTMELER • TAMİR HARÇLARI  
ASİDİK ASTARLAR • NÖTR ASTARLAR • SERAMİK ELYAF  
MAZLEMELERİ • SERAMİK BOYALAR • TUĞLALAR

FEVZİPAŞA MAHALLESİ  
YÜREK SOKAK NO.10, 34586  
DEĞİRMENKÖY / SİLİVRİ / İSTANBUL

☎ 444 3 012  
☎ +90 212 332 30 20 (PBX)  
☎ +90 212 332 08 15

[www.kiltas.com.tr](http://www.kiltas.com.tr)  
[info@kiltas.com.tr](mailto:info@kiltas.com.tr)



Yeni  
Yatırımlarımızla  
**TÜRK SANAYİSİNDE  
FARK YARATIYORUZ**



Türkiye'de  
**VASIFLI  
ÇELİĞİN**  
Adı

[www.asilcelik.com.tr](http://www.asilcelik.com.tr)

[info@asilcelik.com.tr](mailto:info@asilcelik.com.tr)

**DESIGN**  
FUTURE

**BAŞTUĞ**

[bastugmetalurji.com.tr](http://bastugmetalurji.com.tr)

# SÜRDÜREBİLİYORSAK VARIZ...



- @ colakoglumetalurjias
- f colakoglumetalurji.as
- t ColakogluGroup
- in Çolakoğlu Metalurji A.Ş.

**Çolakoğlu Metalurji**

[www.colakoglu.com.tr](http://www.colakoglu.com.tr)

Biz, bugünün dünyasında büyümenin ancak gelecek nesillere ve dünyamıza bir katkı sağlıyorsa anlamlı olduğuna inanıyoruz. Bu bilinç ve kararlılıkla, doğa dostu bir üretim anlayışıyla, her geçen gün iş operasyonlarımızı inovatif çözümler ile geliştirerek; daha iyi, daha yaşanır, daha mutlu yarınlar için çalışmaya devam ediyoruz.



# ÇELİĞİN SANATI

*Hammaddeden esere...*

*Diler Holding, Demir Çelik ürünleriyle  
1954 yılından bu yana aşk ve gurur  
ile dünyanın dört bir yanında...*

[www.dilerhld.com](http://www.dilerhld.com)

 DILER HOLDİNG



Türkiye'nin **en büyük** entegre çelik üretim tesislerimizde yeniliği esas alıyor ve teknolojik gelişmeleri takip ederek **dünyanın dört bir yanındaki** paydaşlarımıza değer katıyoruz. Yarım asrı aşkın tecrübemizle ülkemiz ve geleceğimiz için üretmenin **gururunu** yaşıyoruz.



# BİRLİKTE GÜÇLÜYÜZ

## İDÇ GRUP ŞİRKETLERİ

insana verilen değer,  
çağdaş yönetim anlayışı, profesyonel  
kadro ve güçlü finans yapısı ile  
**Türkiye için değer üretmeye,  
ürettikçe güçlenmeye devam ediyor.**

[www.izdemir.com.tr](http://www.izdemir.com.tr)



**İZMİR DEMİR ÇELİK  
SANAYİ A.Ş.**



İlk adımdan bugüne kadar;  
demir çelik, denizcilik, limancılık, taşımacılık, enerji, madencilik,  
geri dönüşüm ve tersanecilik alanlarında yaptığı yatırımlarla  
büyümeye devam eden Kaptan Grup, 55 yılı aşan tecrübesiyle  
Türk Ekonomisine katkı sağlamaktadır.

[www.kaptangrupturkiye.com](http://www.kaptangrupturkiye.com)

# TÜRKİYE'NİN FABRİKASI

90 YAŞINDA



[www.kardemir.com](http://www.kardemir.com)

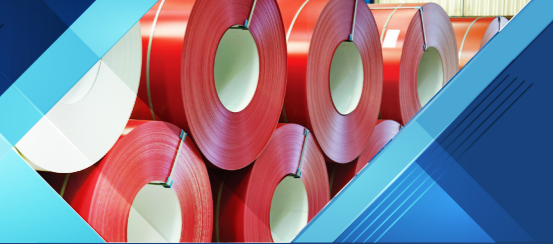


@sosyalkardemir

# ÇELİKTE

KÖKLÜ GEÇMİŞ, GÜÇLÜ ALTYAPI,  
GÜVENLİ LİMAN, DİJİTAL ÇAĞ

Doksan yıllık köklü geçmiş güçlü altyapıyla buluşuyor,  
çeliğin güvenli limanı MMK Metalurji, üstün kalite anlayışıyla  
projelerinize güç katıyor.



STEEL

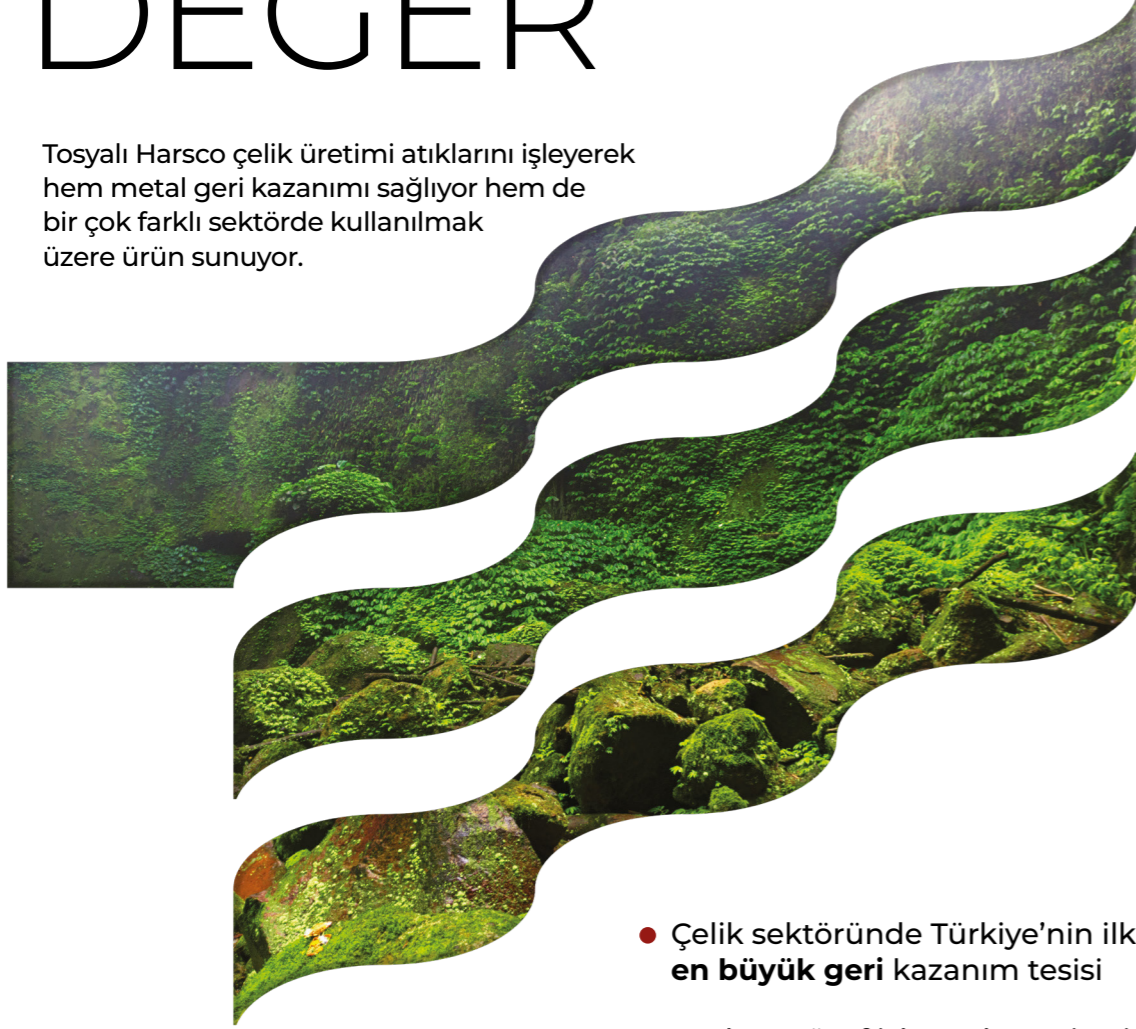
MMK METALURJİ

[mmkturkey.com.tr](http://mmkturkey.com.tr) | [f](#) [t](#) [@](#) [in](#) /mmkmetalurji



# İLERİ DÖNÜŞÜME DEĞER

Tosyalı Harsco çelik üretimi atıklarını işleyerek hem metal geri kazanımı sağlıyor hem de bir çok farklı sektörde kullanılmak üzere ürün sunuyor.



- Çelik sektöründe Türkiye'nin ilk ve **en büyük geri kazanım tesisi**
- Toplam cüruf işleme kapasitesi **1.200.00 Ton/Yıl**
- Geri kazanılan metal miktarı **18.000 Ton/Yıl**

## Global PARTNERİNİZ.

Uluslararası geniş ağımız,  
Stok gücümüz ve  
Kaliteli ürünlerimiz ile ...





dot  
dash  
dot

Our mark of  
assurance is rolled  
onto every piece  
of rebar we certify.  
So you have peace  
of mind in a...



For assurance that  
is clear to see,  
specify **CARES**

Independent | Impartial | Trusted

[carescertification.com](http://carescertification.com)

Heraeus

 Electro-Nite

Güvenilir yerel uzmanlık. Global destek.



Sıvı metal ölçüm ve kontrolünü 7/24 güvenilir bir şekilde sağlama konusunda, ihtiyaç duyulduğunda, yerinde destek ve çözümler sağlayamıyorsanız, Global olmanın hiç bir önemi yok.

Bu nedenle, dünyadaki yerel tesislerimiz ve ekiplerimiz, kaliteli ürün ve uzmanlığımızı müşterilerimizin süreçlerine dahil etmek için işbirliği yapmaktadır. Aynıını sizin için de yapabiliriz. Bu sayede, verimlilik ve karlılığınızın her zaman en güvenilir ellerde olduğundan emin olabilirsiniz.



Daha fazla bilgi için:  
**Heraeus Electro-Nite A.S.**  
1. Organize Sanayi Bölgesi Dagistan  
Cad. No: 15 06935 Sincan - ANKARA  
Tel: (0312) 267 08 88  
Faks: (0312) 267 08 87  
Web: [www.heraeus-electro-nite.com](http://www.heraeus-electro-nite.com)

Güçlerimizi **Calderys** ile birleştirerek, yüksek kalite refrakter tuğla ve monolitik ürünlerimiz ile demir-çelik ve metalurji sektörlerinin en kuvvetli çözüm ortağı olmaya devam ediyoruz.



Büyükcavuşlu Mah. Çerçezköy Cad. No:585 Silivri, İSTANBUL / TÜRKİYE  
T: +90 212 7453505 F: +90 212 7453515  
www.haznedardurer.com

**HAZNEDAR DURER**  
REFRACTORIES  
a member of Calderys

Dünyayı döndüren,  
**ÇELİĞİN**  
**GÜCÜ**



Sağlam ve aydınlık bir gelecek için daima daha iyisini üretiliyor,  
ülkemin büyümesine güç katmaya devam ediyoruz.

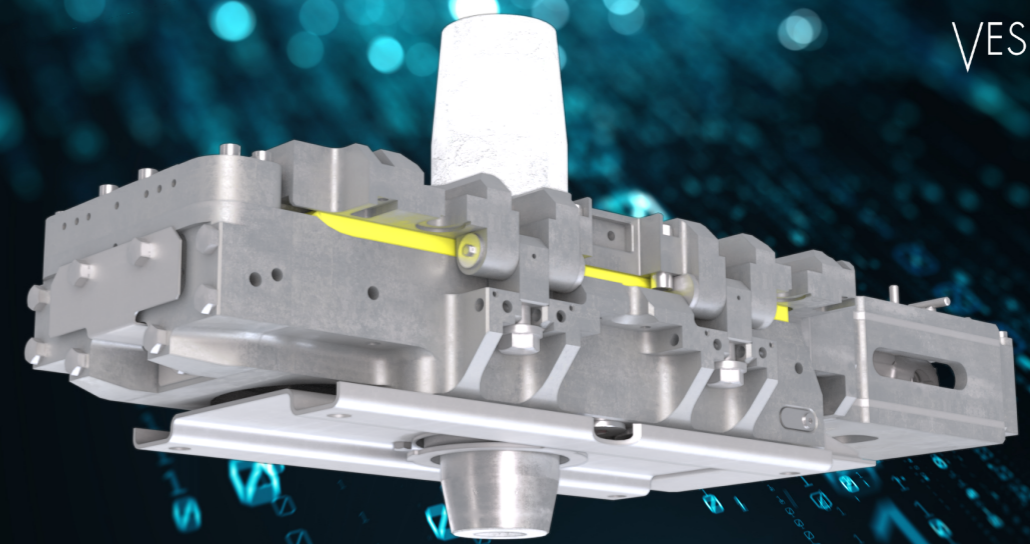
 **İÇDAŞ®**

www.icdas.com.tr

# GREEN STEEL FOR A ZERO-CARBON WORLD

Our vision for sustainable metals production is one of net-zero carbon emissions. So we are forging ahead to bring the metals sector closer to this ultimate goal. Green solutions from Primetals Technologies have helped metals producers minimize their CO<sub>2</sub> footprints for years. But delivering net-zero 2050 will take a true game changer. This is why we focus on plants that run on green hydrogen. For a bright future in a more sustainable world.

[primetals.com](http://primetals.com)



LG3X series

The most ergonomic and safe ladle gate for a productive operation

The **LG3X ladle gate family** provides modern, outstanding technology features to improve steel quality protection further, reduce operator exposure and increase process safety and efficiency.

Most modern Ladle Slide Gate designed for a larger concept extendable to **Total Ladle Bottom Management**, hence enabling customers to fully automatize their Caster and Ladle Preparation Area process through the integration and perfect collaboration in Industrial **Robot Work-Cells**.

**New Plate Shape** with **adaptable Plate Face Pressure Control**, provision for **Inert Gas Shielding** around the plate joint, and optimized Spring Force Application near the casting channel result in **higher Plate Life** with a less and shorter interruption for refractory consumable replacement.

**Automatic Plate Pressure** application with fully **Automatic Plate Clamping/Unclamping**.

**Integrated Bayonet** for collector nozzle and **Self-locking Inner Nozzle** dramatically facilitate and accelerate the intervention of operators during the refractory change procedure in the ladle preparation area.

The best ladle gate for:



Safety



Higher Plate Life



Ergonomics



Robot readiness

[WWW.VESUVIUS.COM](http://WWW.VESUVIUS.COM)

THINK BEYOND. SHAPE THE FUTURE





## Demir Çelik Sektörüne Malzeme ve Ekipman Temininde Hizmetinizdeyiz



Kendi üretimimizden;

- Tandış çabuk nozul değiştirme mekanizması
- Nozul değiştirme mekanizması refrakterleri



- Sıvı çelikte ölçüm (sıcaklık, oksijen, hidrojen, karbon) sensörleri ve analiz için numune alma problemleri



HEG LIMITED

- Ark ve pota ocağı için grafit elektrod



Tianjin Hong Long  
Metals Co., Ltd

- İkincil metalürji enjeksiyon telleri



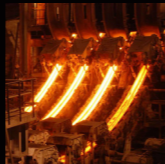
- EAO brülörleri,
- Oksijen, karbon, kireç sistemleri ve modülleri



- Çelik üretimi için tuğla, prefabrik ve şekilsiz refrakterler



- Tandış nozulları
- EAO ve PO refrakterleri
- Dökümhane ve demir dışı sektörler için refrakterler
- Pota gaz üfleme sistemi refrakterleri



- Sürekli döküm bakır kalıpları
- Hadde merdaneleri



- Sentetik cüruf, refrakter enjeksiyon lansları, yüksek fırın yolluk refrakterleri, tandış izolasyon malzemeleri, radyasyon detektör sistemleri



FERROSER MÜMESSİLLİK VE METAL SANAYİ  
LİMİTED ŞİRKETİ

info@ferroser.com.tr

www.ferroser.com.tr

Tel.: 0 216 466 59 80





INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
IRON & STEEL



INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
IRON & STEEL



**EFRS** 2022

INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
**IRON & STEEL**

# EFRS 2022

**8** INTERNATIONAL IRON & STEEL SYMPOSIUM  
ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU  
**26-27 MAY 2022** Tepekule Convention and Exhibition Centre  
Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi **ZMİR**



**Coordinator of the Symposium**

UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers's Training Center  
Meşrutiyet Cd. Hatay Sk. No:10/9 Kızılay / ANKARA  
Phone: +90 312 425 41 60 Fax: +90 312 418 93 43

**Sempozyum Koordinatörlüğü**

TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi  
Meşrutiyet Cd. Hatay Sk. No:10/9 Kızılay / ANKARA  
Telefon: 0312 425 41 60 Faks: 0312 418 93 43



**UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS**  
**TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI**



[www.efrs-mtm.com](http://www.efrs-mtm.com)



[efrs@efrs-mtm.com](mailto:efrs@efrs-mtm.com)



Efrs2022