



**YÜKSEK FIRINLARDA DÖKÜM DELİĞİ  
ÇAMURU UYGULAMALARI VE  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Mert Orkun HEKİM**

**Tez Danışmanı  
Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**YÜKSEK FIRINLARDA DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU UYGULAMALARI  
VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**Mert Orkun HEKİM**

**Tez Danışmanı  
Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Mayıs 2023**

Mert Orkun HEKİM tarafından hazırlanan “YÜKSEK FIRINLARDA DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU UYGULAMALARI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI .....  
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/05/2023

| <u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>        | <u>İmzası</u>   |
|---|-----------------|
| Başkan : Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ) | .....           |
| Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KSÜ)      | .....ONLINE.... |
| Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı KARA (KBÜ)  | .....           |

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mert Orkun HEKİM

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

# YÜKSEK FIRINLARDA DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU UYGULAMALARI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

**Mert Orkun HEKİM**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**Mayıs 2023, 65 sayfa**

Çalışma prensipleri yüksek sıcaklık ve basınç altında olan yeni nesil yüksek fırınlar büyük hacimlere sahiptir. Bu durum, döküm deliği çamurlarında malzeme ve refrakter uygulaması ile ilgili değişikliklere yol açmıştır. Döküm delikleri, erken aşınmaya eğilimlidir ve bu nedenle sorunsuz bir döküm elde etmek için uygun fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iyi ve güçlü bir döküm deliği çamur kütlesi gereklidir. Ana fiziksel ihtiyaç, sıcak metalin sorunsuz bir şekilde alınmasını sağlamak ve genellikle döküm süresinin iki saati bulduğu proses şartlarında, delik uzunluğunun istenilen değerlerde olması gereklidir.

Bu çalışmada, Kardemir 5. yüksek fırın döküm deliğinde kullanılan 3 farklı refrakter malzemenin performansı incelenmiş ve zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Yüksek fırın dataları olarak sinter, pelet, kok, cevher, kömür girdileri, cüruf bileşimi, sıvı maden miktarı kullanılmış ve döküm deliği çamurlarının fiziksel, kimyasal özellikleri

incelenmiş olup tüketilen döküm deliği çamurlarının döküm sürelerine, akış durumuna, çamur basma kabiliyetine, döküm deliği uzunluğuna etkisi ve spesifik tüketimi araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : Yüksek fırın, refrakter malzeme, döküm deliği, kalite, dökümhane.

**Bilim Kodu** : 91525



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF TAPHOLE CLAY APPLICATIONS AND PERFORMANCE IN BLAST FURNACES**

**Mert Orkun HEKİM**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**May 2023, 65 pages**

The new generation blast furnaces have large volumes, operate at high pressures and increasing high temperatures. This has led to changes in the material and refractory application in the sludge mud. Tap holes are prone to wear in less time and therefore a good and strong clay mass with suitable physical and chemical properties is required to achieve a smooth casting. The main physical requirement is to ensure that the hot metal is removed smoothly and the tap hole length of the casting, which usually takes two hours, is at the desired values.

In this study, the performance of 3 different refractory materials used in Kardemir 5th blast furnace tap hole was investigated and it was aimed to reduce their harmful effects. Sinter, pellet, coke, ore, coal inputs, slag composition, liquid mineral amount were used as blast furnace data, and the physical and chemical properties of the tap hole clay were examined and the effects of the consumed clay on the casting times, flow state, clay

pressing ability, tap hole length were examined and its specific consumption were investigated.

**Key Word** : Blast furnace, refractory material, tap hole, quality, casthouse.

**Science Code** : 91525



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tasarlanması ve yürütülmesinde bana destek olan, engin bilgi ve tecrübelerini aktaran danışmanım Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteğini eksik etmeyen Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlarda Müdürü Sayın Fikret FURTUN'a, 5.Yüksek Fırın İşletme Başmühendisi Hüseyin AYHAN'a ve değerli mesai arkadaşlarım 5.Yüksek Fırın İşletme Mühendisi Abdulrezzak ERDEM, Serhat ÖZDEMİR ve Hasan KÖKLÜ'ye en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca bilgisini esirgemeyen, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Emre ACAR ve Sayın Fatih BAŞDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi-manevi desteğim olan başta ailem olmak üzere çok kıymetli sevgili eşim Münire HEKİM ve varlığına şükrettiğim oğlum Metehan HEKİM'e en içten minnet ve şükran duygularıyla ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ihtiyacım olan verileri kullandığım için Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Bu çalışma Karabük Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından KBÜBAP-23-YL-045 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL.....                                     | ii           |
| ÖZET.....                                      | iv           |
| ABSTRACT.....                                  | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                  | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....                              | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                           | xii          |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                        | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....           | xiv          |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 1 .....                                  | 1            |
| GİRİŞ .....                                    | 1            |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 2 .....                                  | 3            |
| LİTERATÜR TARAMASI.....                        | 3            |
| <br>   |              |
| BÖLÜM 3 .....                                  | 8            |
| GENEL BİLGİLER .....                           | 8            |
| 3.1. TÜRKİYE’DE DEMİR ÇELİK .....              | 8            |
| 3.2. YÜKSEK FIRIN PROSESİ .....                | 10           |
| 3.2.1. Yüksek Fırın Hareketi ve Gelişimi ..... | 11           |
| 3.2.2. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri.....   | 13           |
| 3.2.2.1. Boğaz Bölgesi .....                   | 14           |
| 3.2.2.2. Gövde.....                            | 14           |
| 3.2.2.3. Bel .....                             | 14           |
| 3.2.2.4. Karın .....                           | 14           |
| 3.2.2.5. Hazne .....                           | 14           |
| 3.2.3. Yüksek Fırın Yardımcı Tesisleri .....   | 15           |
| 3.2.3.1. Hammadde Tesisleri .....              | 15           |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.3.2. Sobalar .....                                 | 16 |
| 3.2.3.3. PCI Tesisi.....                               | 16 |
| 3.2.3.4. Döküm Holü.....                               | 16 |
| 3.2.3.5. Refrakter Malzeme ve Soğutma Ekipmanları..... | 18 |
| 3.2.3.6. Tepe Şarj Sistemi .....                       | 18 |
| 3.2.4. Yüksek Fırın Prosesi.....                       | 20 |
| 3.2.5. Yüksek Fırın Hammaddeleri.....                  | 21 |
| 3.2.5.1. Parça Cevher .....                            | 22 |
| 3.2.5.2. Sinter .....                                  | 22 |
| 3.2.5.3. Pelet.....                                    | 22 |
| 3.2.5.4. Flaks Malzemeler.....                         | 22 |
| 3.2.5.5. Kireç Taşı.....                               | 23 |
| 3.2.5.6. Dolomit .....                                 | 23 |
| 3.2.5.7. Yakma Havası.....                             | 23 |
| 3.2.5.8. Metalürjik Kok.....                           | 23 |
| 3.2.5.9. Pulvarize Kömür .....                         | 24 |
| 3.2.6. Yüksek Fırın Çıktıları .....                    | 25 |
| 3.2.6.1. Sıvı Ham Demir .....                          | 25 |
| 3.2.6.2. Cüruf .....                                   | 25 |
| 3.2.6.3. Gaz .....                                     | 25 |
| 3.2.7. Yüksek Fırın Değişkenleri.....                  | 26 |
| 3.2.7.1. Basınç, Sıcaklık ve Hava Miktarı .....        | 26 |
| 3.2.7.2. Cüruf Bazitesi .....                          | 27 |
| 3.3. REFRAKTER MALZEMELER .....                        | 27 |
| 3.3.1. Refrakter Malzemelerin Genel Özellikleri .....  | 28 |
| 3.3.1.1. Mineral ve Kimyasal Yapı .....                | 28 |
| 3.3.1.2. Çekme ve Genişleme .....                      | 28 |
| 3.3.1.3. Porozite ve Yoğunluk .....                    | 29 |
| 3.3.1.4. Basınç ve Sıcaklık Direnci.....               | 29 |
| 3.3.1.5. Isıl Özellikler .....                         | 29 |
| 3.3.1.6. Isıl Çatlama ve Parçalanma.....               | 29 |
| 3.3.1.7. Mekanik Mukavemet .....                       | 30 |
| 3.3.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması .....  | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.3. Döküm Deliği Çamurları .....                                | 32 |
| 3.3.3.1. Silisyum Karbür .....                                     | 32 |
| 3.3.3.2. Kahverengi Alüminyum Oksit.....                           | 33 |
| 3.3.3.3. Boksit .....  | 34 |
| 3.3.3.4. Korindon .....  | 34 |
| 3.4. DÖKÜMHANE OPERASYONU .....                                    | 35 |
| 3.4.1. Hedefler .....  | 35 |
| 3.4.2. Haznede Sıvı Ham Demir ve Cüruf.....                        | 35 |
| 3.4.3. Döküm Deliğinden Maden ve Cüruf Alınması.....               | 36 |
| 3.4.4. Döküm Rejimi .....  | 38 |
| 3.4.5. Matkap Motoru ve Çamur Topu Ekipmanları .....               | 40 |
| 3.4.6. Haznedeki Sıvı Malzemenin Seviyesi .....                    | 40 |
| 3.4.7. Döküm Erteleme .....  | 42 |
| 3.4.8. Cürufsuz Döküm.....   | 43 |
| 3.4.9. Hava Gelmeden Kapatılan Döküm.....                          | 44 |
| 3.4.10. Haznedeki Sıvının Boşaltılması.....                        | 45 |
| 3.4.11. Oksijen ile Döküm Açılması .....                           | 46 |
| 3.4.12. Döküm Bilgilerinin Kayıt Altına Alınması .....             | 46 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 4 .....  | 47 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....  | 47 |
| 4.1. DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURLARININ BELİRLENMESİ.....                   | 47 |
| 4.2. 5 NOLU YÜKSEK FIRIN DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU<br>UYGULAMALARI ..... | 48 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 5 .....  | 56 |
| BULGULAR VE TARTIŞMA .....   | 56 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 6 .....  | 58 |
| SONUÇLAR .....   | 58 |
| <br>   |    |
| KAYNAKLAR .....  | 62 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 65 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| Şekil 3.1. Türkiye’de Çelik Üretimi.....                                      | 9                   |
| Şekil 3.2. Yüksek Fırın Ters Akım Şeması.....                                 | 11                  |
| Şekil 3.3. Yüksek Fırına Ait Temsili Sıcaklık Değerleri. ....                 | 12                  |
| Şekil 3.4. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri. ....                             | 13                  |
| Şekil 3.5. Yüksek Fırın Ana Şablonu.....                                      | 18                  |
| Şekil 3.6. Tepe Şarj Sistemi. ....  | 19                  |
| Şekil 3.7. Yüksek Fırın Çalışma Prosesi.....                                  | 21                  |
| Şekil 3.8. Ana Maden Kanalında Maden Ve Cürufun Ayrıştırılması. ....          | 35                  |
| Şekil 3.9. Yüksek Fırın Haznesi.....  | 36                  |
| Şekil 3.10. Döküm Deliği Mantar Oluşumu. ....                                 | 37                  |
| Şekil 3.11. İki Döküm Deliğine Sahip Yüksek Fırında Döküm Alınma Durumu. .... | 39                  |
| Şekil 3.12. Hazne Seviyesi.....   | 41                  |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--|---------------------|
| Çizelge 3.1. 5.Yüksek Fırın Basınç, Sıcaklık ve Hava Miktarı. .... | 26                  |
| Çizelge 4.1. A-B ve C Kalite DDÇ Teknik Özellikleri.....           | 49                  |
| Çizelge 4.2. 5. Yüksek Fırın – A Kalite Döküm Deliği Çamuru. ....  | 50                  |
| Çizelge 4.3. 5. Yüksek Fırın – B Kalite Döküm Deliği Çamuru. ....  | 51                  |
| Çizelge 4.4. 5. Yüksek Fırın– C Kalite Döküm Deliği Çamuru. ....   | 53                  |
| Çizelge 6.1. A-B-C Kalite DDÇ Spesifik Tüketimi (gr/tshd).....     | 60                  |
| Çizelge 6.2. A-B-C Kalite DDÇ Delik Boyu Performansı. ....         | 60                  |
| Çizelge 6.3. A-B ve C Kalite DDÇ Performans Ortalamaları. ....     | 60                  |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| Fe                  | : demir                      |
| C                   | : karbon                     |
| O <sub>2</sub>      | : oksijen                    |
| CO <sub>2</sub>     | : karbondioksit              |
| CO                  | : karbonmonoksit             |
| H <sub>2</sub>      | : hidrojen                   |
| °C                  | : celsius (santigrat derece) |
| S                   | : kükürt                     |
| Mn                  | : mangan                     |
| Si                  | : silisyum                   |
| P                   | : fosfor                     |
| Ti                  | : titanyum                   |
| N <sub>2</sub>      | : azot                       |
| %                   | : yüzde                      |
| SiO <sub>2</sub>    | : silisyum dioksit           |
| mm                  | : milimetre                  |
| kg                  | : kilogram                   |
| CaO                 | : kalsiyum oksit             |
| MgO                 | : magnezyum oksit            |
| Fe(OH) <sub>3</sub> | : limonit                    |
| K <sub>2</sub> O    | : potasyum oksit             |
| Na <sub>2</sub> O   | : sodyum oksit               |

## KISALTMALAR

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| TSHD     | : Toplam Sıvı Ham Demir              |
| DDÇ      | : Döküm Deliği Çamuru                |
| PCI      | : Pulvarize Kömür Enjeksiyonu        |
| EAO      | : Elektrikli Ark Ocağı               |
| BOF      | : Bazık Oksijen Fırını               |
| KARDEMİR | : Karabük Demir Çelik Fabrikaları    |
| İSDEMİR  | : İskenderun Demir Çelik Fabrikaları |
| ERDEMİR  | : Ereğli Demir Çelik Fabrikaları     |
| TCP      | : Termokupl (sıcaklık ölçer)         |

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Çelik üretimi için günümüzde yaygın olarak izlenen durum; demir oksitli malzemeyi yüksek fırınlarda oksitlerinden arındırarak elde edilen sıvı ham demiri, çelikhaneye göndererek istenilen ürüne dönüştürmektir. Entegre tesis bünyesinde bulunan yüksek fırınlar çelik üretiminde %95'in üzerinde etkiye sahiptir. Modern yüksek fırınlara sahip tesisler üretim üzerinde çok önemli proses olarak adlandırılır. Yüksek fırınlar üretim yöntemi sebebiyle konum itibarıyla önemli bir yere sahiptir. Ana ürün sıvı demir olmakla birlikte metale geçemeyen empriteler yan ürün olarak yüksek fırın cürufunu oluşturur. Öte yandan diğer bir yan ürün olarak fırını tepeden terkeden yüksek fırın gazı da önemli bir çıktı olarak karşımıza çıkmaktadır.

İlerleyen teknolojiyle beraber günümüzde modern fırınlar yapılması sonucu pek çok yol katedilmiştir. Uygun hammadde ve metalürjik kok özelliği ile sorunsuz üretim gerçekleştirilebilmektedir. Demir cevherleri ve yoğunlaştırılmış aglomerasyonlar ile girdi malzemelere etkin özellikler katılabilmekte ve yakıt malzemesi olarak kullanılan kömür koklaştırılarak istenilen özellik elde edilmektedir.

Yüksek fırın şarj malzemesi olan demirli oksitler (parça cevher, sinter ve pelet), yakıt olarak kullanılan metalürjik kok ve cüruf yapıcı maddeler fırın tepe kısmından konveyör bant veya vagonetler ile şarj edilirler. Tüyer bölgesinden üflenen önceden ısıtılmış hava ile o bölgeye ısınarak gelen kok tepkimeye girerek CO oluştururlar. Elde edilen karbonmonoksit ile havadan gelen azot karışımı gaz tepeye doğru hareket ederken, aşağı yönde hareket sergileyen malzemelere ısısını verir. Gaz içeriğindeki redükleyici gaz olan karbonmonoksit farklı sıcaklık seviyelerindeki indirgeme durumlarına göre demiri oksitlerinden arındırarak Fe'ye indirger ve CO<sub>2</sub> açığa çıkar.



Karbon varlığında CO<sub>2</sub> boudouard reaksiyonu ile tekrar karbonmonoksite dönüşür. Endotermik reaksiyon oldukça yüksektir.

Basınç yükselmesi ve sıcaklık düşüşü ile karbonmonoksit kararlılığı azalır. Bu değer aralığı 600- 800°C arasında olmaktadır. Bu nedenle fırının üst kısımlarına doğru sıcaklık düştükçe karbonmonoksit: karbondioksit ve karbona ayrışır (korozyon veya karbon çökmesi). Reaksiyon, çökeltmiş C tarafından karşılanan parçanın tepkime hızı artmaktadır. Karbon çökmesi, genellikle sorunsuz çalışan fırında tepe bölgesinde meydana gelir. Fırıncılık işinde çok kritiktir. Fırında kullanılan refrakter malzemelerinin yapı içinden sızarak baca çapında önemli daralmalar meydana getirir ve yapıya zarar verir.

Yüksek fırının alt bölgesinde 1200°C'lere ısıtılan hava ile ısınmış kok, tepkime sonrası meydana gelen tüyer gazı 2000-2250°C alev sıcaklığına sahiptir ve fırını terkederken 100-200°C'e kadar soğumaktadır. Girdi maddeleri de aşağı yönlü hareket ederken ısınırlar ve tüyerlerin üst kısmında 1400- 1450°C seviyesinde olurlar. Bu kısım, yükün yumuşayarak erimeye başladığı bölgedir. Doğrudan indirgenme ile metal ve cürufun eritilmesi burada gerçekleşir. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO ve MgO başlıca cüruf içerikleridir. Bunlar cürufta yaklaşık %95-96 oranı oluşturmaktadır. Diğer kalan maddeler ise FeS, MnO, FeO, CaS, alkali silikatlar vs.'dir. Genel olarak baziklik oranı (bazik oksitlerin asit oksitlere oranı); 0,9- 1,1 aralığında tutulmaktadır.

Yüksek fırın alt bölgesinde kullanılan refrakter malzemeler, cürufun yapısına göre seçilmektedir. Bazite, nötr olarak kabul edilir. Alkalinitenin yükselmesi kükürt sorununu çözsede, eğer alkali yük ile girerse alkali sorunlarını arttırır. Alkali artması yük malzemelerinin dağılımını da olumsuz etkilemektedir. Pelet ve kokun şişerek dağılmasına vesile olurlar. Hazne bölgesinde bulunan döküm deliği ve etrafında yer alan refrakter malzemeleri de düşünersek bu bölge kritik önem arz etmekte ve fırın ömrünü, üretkenliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Döküm deliğinde kullanılan çamurların kimyasal ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak seçilmeli ve fırın rejimini göz önünde bulundurarak kararlar alınmalıdır [1].

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Bağlayıcı miktarının çeşitli oranlarda grafit içeren  $Al_2O_3-C$  refrakterlerin mekanik davranışı ve iç yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı miktarlarda grafit içeren  $Al_2O_3-C$  test numuneleri, çeşitli miktarlarda bağlayıcı madde ilave edilmesi sonucu meydana gelmiştir. Reçine ve kil oranları sabit tutulmuştur. Numuneler  $180\text{ }^\circ\text{C}$ 'de temperlendi ve  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de koklaştırıldı. Numunelere dökme ağırlık, gözeneklilik, soğuk basma dayanımı, yük altında karakteristik, ısıl şok dayanımı ve korozyon deneyleri yapılmış ve iç yapıları mikroskopta kontrol edilmiştir [2].

Farklı içerik oranlarına sahip  $Al_2O_3-C$  refrakterlerde bağlayıcı olarak kullanılan reçine miktarı arttırılarak malzemenin iç yapısı ve dayanım sonuçları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalara göre bağlayıcı miktarındaki artış, refrakter numunelerin fiziksel özelliklerini ve mekanik davranışını etkilemiştir. Reçine miktarının iç yapıya etkisi mikro incelemelerinde gözlenmemiş ve şekil verilmesi zor olan grafit, bağlayıcı miktarı ne olursa olsun tüm örneklerde homojen bir dağılım göstermiştir [2].

Magnezya refrakterleri, açık ocak proseslerinde temel cüruf uygulamalarında ilk kez kullanılmaya başlanmasından sonra, son 120 yıldır çelik endüstrisinin verimliliği ve performans belirleyici bir rol üstlenmiştir [3]. Diğer refrakter ürünlerle birlikte çelik üretim tesislerinin refrakter kaplama tasarımlarının tercih edilen malzemeleri haline gelmiştir.

Belirli bir amaç için üretilecek ürüne hangi magnezya türünün uygun olduğunu belirlemek için birçok parametre dikkate alınır. Temel parametreler;  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  ve  $B_2O_3$  içeriği periklaz kristal çapı (mikron), kütle ağırlığı (yoğunluk) ve  $CaO/SiO_2$  oranıdır. Bu magnezya seçim kriterleri nihai ürünün fiziksel, termal, kimyasal özelliklerini belirler. Magnezya seçiminde en kritik konu cüruf dayanımıdır.

Piştirilmiş tuğlalarla karşılaştırıldığında, magnezya kalitesi, yüksek sıcaklıklarda fırınlanmamış refrakterlerin mukavemet veya ısı özelliklerinde daha az rol oynamaktadır. Çünkü bu ürünlerdeki bağ türü unlu mamullerdeki gibi seramik değil karbon bağıdır [3].

Yüksek fırınlardaki dökümhane kanallarında dökülebilir refrakterlerin uygulamasını araştırdılar. Yüksek fırınlardaki teknolojik büyümelere bağlı olarak üretim kapasitesi artmış ve bu durum döküm kanallarından daha fazla sıcak metal alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Ana maden kanalında uygulanan refrakter malzemenin geliştirilmesi sonrası tamir edilmeyen ömür bakımından daha çok kullanılması sağlanmıştır [4].

Termal döngüler sırasında magnezya refrakterlerinin mekanik özelliklerindeki değişimi araştırılmıştır. Cam fabrikaları ve çimento döner fırınlarında tüketilen magnezya refrakter tuğlaların kullanım sırasında ortaya çıkan sıcaklık farklılıklarının malzeme üzerinde mekanik etkisi araştırılmıştır. Magnezya refrakter tuğla numuneleri 400, 500, 600 ve 800°C sıcaklık farkları ile 1 atm basınçta hava ile fırın sıcaklığından oda sıcaklığına anında soğutulmuş ve termal döngü gerçekleştirilmiştir.

5 ve 10 devir ile hazırlanan numuneler üzerinde oda sıcaklığında standartlara uygun olarak üç nokta eğme testleri uygulanmıştır. Sıcaklık farkları ve devir sayılarının artması malzeme eğilme mukavemetinde azalmaya sebebiyet vermiştir. Isıl çevrimler sırasında yapıdaki yüzey değişimleri, ağırlık kayıpları ve çatlak oluşumları yüzey çizimleri ile belirlenmiştir [5].

Sinterlemede, yüksek fırın üretim teknolojisinde toz boyutu olarak kabul edilen demir cevherleri ile çoğunlukla demir oksit ve diğer demirli malzemelerden oluşan sinter harmanı, açığa çıkan ısı ile kısmen eriyerek blok (aglomere) haline gelir. Karışımda kok tozunun yanması. Yanma; ızgara üzerine serilen harman üst bölgesinden taban kısmına doğru ilerler.

Sinterlemenin üç ana amacı ortaya çıkmaktadır. Fırınlarda tüketilmesi için uygun tane boyutu sağlanması, isteniyene kükürdü zararsız miktarlara indirmek, yüksek fırın çalışma koşullarında rahatlıkla kullanılacak özelliklerde indirgenabilirliği yüksek, mukavemetli, yük malzemesi elde ederek demir üretim verimini artırmak. Sinterlemenin getirdiği bu yararlar, demir çelik üreten entegre tesislerde sinter ünitesinin yer almasını zorunlu kılmıştır. Son yıllarda, entegre tesislerin diğer ünitelerinde de olduğu gibi, yeni sinter tesisi kurmak yerine, teknolojik gelişmelere paralel olarak, mevcut tesisleri daha etkili çalıştırmak ve bu tesislerde üstün özelliklere sahip yüksek fırın yük malzemesi olarak indirgenebilirliği yüksek (düşük SiO<sub>2</sub>, düşük FeO içerikli) sinter üretmek amaç olmuştur. Cevher ve harmanı oluşturan maddelerin özellikleri ile sinter kalitesi arasındaki ilişkiler üzerine yapılan temel çalışmaların sonuçlarının tesislerde kullanılması, sinter kalitelerinin istenilen hedefe ulaşmasında önemlix” katkılar sağlamıştır.

Uygulanan bir gelişme de, sinter harmanına Bazik Oksijen Konverteri (BOF) cürufu ilave etmektir. Çoğu çelik üretim cürufları başlıca CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> ve FeO içerirler. Düşük fosforlu çelik üretim pratiklerinde bu oksitlerin sıvı cüruf içindeki toplam konsantrasyonları %90 civarındadır. Bu nedenle BOF cürufları en basit olarak CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-FeO dördü sistemli olarak değerlendirilir. Cürufta CaO'in çözünürlüğü, cürufun dikalsiyum silikatla doymuş olmasıyla sınırlıdır.

Demir çelik üretiminde, bu maddelerin arasında sadece fosfor olumsuzluk yaratabilir. Demir cevheri sinteri harmanına BOF cürufu ilavesiyle; sinterin cüruflaştırıcı ihtiyacı karşılanabildiği gibi, atık duruma gelmiş önemli miktardaki Fe ve Mn yeniden kazanılabilmektedir. Benzer amaçlarla, entegre demir çelik tesislerinde sinter harmanına BOF cürufu eklenmesi yapılmaktadır. Bu çalışmada Erdemir'de bu uygulamanın sinter özelliklerine etkisi incelenmiştir [6].

Dökülebilir refrakterlerde dolgu malzemesi olarak yerli boksitlerin kullanılması incelenmiştir. Refrakter malzemeler genel itibarıyla yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Dökülebilir refrakterlerin en genel tanımı, dökülerek yerleştirilmiş bir grup amorf yapıdır. Aynı zamanda inşaat sektörü ile benzer çalışmalara sahiptir.

Zamana bağılı gelişme ile birlikte sanayide refrakter kullanımına olan ihtiyaç artmış ve 1980-90 yılları arasında özellikle dökülebilir refrakterlerde dünyada büyük ilerlemeler gerçekleşmiştir. Dökülebilir malzemeler refrakter malzemelerin %33'ünü oluşturur. Yine 1980 yılından sonra dolgu malzemelerinde tane boyutu hassasiyetinin önemi anlaşılmıştır. Alümina silikat refrakterlerin katkı maddeleri, yüksek demir içeren düşük alüminalı şamot kili, Ateş kili ve Andaluzit grubu mineraller (Andaluzit, Kiyanit, Silimanit) ve alümina içeriği yüksek boksit içerir. Bu çalışma boksite odaklanılmıştır. Bunun sebebiyse en iyi katkı malzemesi olması ve yerli boksit kaynakları kullanılarak benzer mukavemette daha ekonomik katkı maddesi kullanılmaya başlanmasıdır [7].

Refrakter malzemelerin termal döngülerinde soğutma ortamının malzeme özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretimi yapılan refrakterin ve kullanımında karşılaşılan sıcaklık farklılıkları, yapı içerisinde birtakım değişimler meydana getirir. Bunlardan kritik olanı ise mukavemet değerlerinin düşmesi, yapıda oluşan çatlamlar ve bununla ilgili ilerlemelerdir. Su ve hava soğutmalı ortamlarda 400, 500, 600 ve 800 °C sıcaklık değişimleri olan alümina ve magnezya refrakter malzemelerine ısıl sok testleri gerçekleştirilmiştir. Isıl sok uygulanan numunelerin üç nokta eğilme testleri ve eğilme mukavemet değerleri ölçülmüş ve mukavemet kaybı ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen yüzeysel görüntülerde hasarın başlangıcı olan çatlaklar tespit edilmiştir. Numunelerin su ortamında soğutulması, hava ortamında soğutulan numunelere göre daha fazla özellik kaybına sahip olduğu grafik ve yüzey görüntülerinden elde edilmiştir [8].

Yapay sinir ağları aracılığıyla yüksek alümina refrakterlerin basınç dayanımının tahmini araştırılmıştır. Buradaki amaç, alümina tuğla üretiminde standart olarak test edilen ve gözlemlenen basınç dayanımının yapay sinir ağları metodu kullanılarak çalıştırılmasıdır. Model oluşturma ve test etmede kullanılan refrakter tuğlaların teknik özelliklerinden elde edilebilecek 300 adet fabrika verisi toplanmıştır. Model oluşturma sürecinde kimyasal bileşim (% SiO<sub>2</sub>, % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % TiO<sub>2</sub>, % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % CaO, % MgO, % Na<sub>2</sub>O ve % K<sub>2</sub>O), tuğla hacmi, sıcaklık, kütle yoğunluğu ve görünür gözeneklilik kullanılmıştır. Modelin oluşturulmasında transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Hatların modele beslenmesi geriye yayılım algoritması ile

gerçekleştirilmiştir. Yüksek alümina refrakterlerin bazı özellikleri kullanımı sonrası modellenerek başarıyla elde edilen tahmini basınç dayanımı değerleri; Benzer sistemleri anlamada ve aynı olan malzemelerin teknik özelliklerinin tahmin edilmesinde çok faydalı olduklarını göstermiştir [9].

Bu tez çalışmasında, Kardemir A.Ş. 5. Yüksek Fırın döküm deliğinde kullanılan refrakter malzemelerin proses parametleri kapsamında sergilediği performansı ve zararlı etkilerinin tespit edilerek güvenli çalışma şartlarının sağlanması üzerine çalışılmıştır. 3 farklı kalitede döküm deliği çamuru (A-B-C) kullanılarak deneme yapılmıştır. Döküm deliği çamuru için belirlenen parametreler doğrultusunda çamur performans sonuçları kayıt altına alınarak arşivlenmiş, çamurların kimyasal ve fiziksel parametreleri incelenerek performans sonuçları arasında kıyaslama yapılmıştır.

## BÖLÜM 3

### GENEL BİLGİLER

Birçok endüstriye katkı sağlayan demir-çelik sektörü, büyük ekonomik öneme sahiptir. Güvenli ve güvenilir üretim, sürdürülebilirlik yaklaşımı temelinde ihtiyaç duyulan yüksek kaliteli ürünlerin çevresel etkilerini azaltarak sosyal ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunur. Cevherden ve/veya elektrik ark yönteminden iki farklı çelik üretim yöntemi vardır. Bu iki farklı yöntem kullanılan hammaddenin cinsine göre birbirinden farklılık göstermektedir. Genel olarak yassı mamul üretimi ile yüksek fırın prosesi ön plana çıkarken, uzun mamullerde elektrik ark prosesi daha ön plana çıkmaktadır. İkincil üretim olan elektrik ark işlemi, hurda eritme işlemine elektrik enerjisi sağlarken, birincil üretim olan yüksek fırın işlemi, pelet ve parça cevherden çelik üretmek için indirgeyici kaynak olarak kok ve kömür kullanır. Günümüzün ark ocakları da yassı sac üretme kapasitesine sahiptir. Ancak cevherden çelik üretim yöntemi hala dünyadaki birincil üretim yöntemi olarak yerini korumaktadır.

#### 3.1. TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK

1925 yılında Ekonomi Bakanlığı Demir-Çelik Sanayii kurulup kurulamayacağını incelemeye başlamıştır. İşin uzmanı ekipler getirilerek petrol, demir cevheri vb. bölgede araştırmalar yapılmıştır. Uzman Dr. Granigg, ülkenin sektöre uygunluğu, kömürün yapısı ve sektörün nerelere kurulabileceği konusunda çalışmalar yaptı. 1932 yılına kadar ara verilen çalışmalara, Rus Heyeti'nin incelemeleri ve Demir Çelik Sanayii'nin kurulmasıyla yeniden başlanmıştır. Sümerbank ve Erkan-ı Harbiye'nin ağır demir sanayisinin kuruluş yerinin belirlenmesi ve diğer sorunlarının irdelenmesi amacıyla yapılan ortak araştırmada kararlar alınmış ve Karabük bölgesinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Karabük'ü tercih etme nedenleri; Ulaşım ve hammadde yakınlığı, bölge işçilerinin barınabilmesi ve jeolojik yapısının ağır tesislerin kurulmasına uygun olmasından kaynaklanmaktadır [10].

İlk kez 1928 yılında Kırıkkale'de çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. 1939 yılında açılan ilk entegre demir çelik fabrikası olan Kardemir'den sonra Türkiye'nin yassı çelik üretim talebi için Ereğli Demir Çelik Fabrikası (ERDEMİR) faaliyete geçmiştir.

Daha sonra 1977 yılında Türkiye'nin üçüncü entegre demir çelik fabrikası olan İskenderun Demir Çelik Fabrikası (İSDEMİR) uzun çelik ürünleri üretmeye başlamıştır [11].



Şekil 3.1. Türkiye'de Çelik Üretimi [11].

Türkiye'de 40 adet ham çelik üretim tesisi bulunmaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 26 adedi elektrik ark ocaklı (EAO), 11 adedi endüksiyon ocaklı ve 3 adedi BOF üretim tesisleridir [12].

Türkiye 2022 yılında dünya üretiminden 8,7 puan daha az üretim yapmış ve üretim %12,9 azalarak 35,1 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılı Ocak ayında Türkiye'nin ham çelik üretimi bir önceki yılın aynı ayına göre %17,6 düşüşle 2,6 milyon ton olmuştur [11].

### 3.2. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

Yüksek fırınlar; Birtakım reaksiyonlar sonucunda sıvı ham demir sağlayan dikey döküm tesisleridir. Sıvı ham demir, bir yakıt olan metalurjik kok ile demir sınıfı malzemelerin, parça cevherlerin ve sinterin indirgenmesiyle elde edilir. İstenmeyen elemanların uzaklaştırılması için çelik üretim tesisine gönderilir. Yüksek fırın proses sonrası, bileşimin erimiş maden kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır ve sıcaklığının olabildiğince yüksek olması istenir.

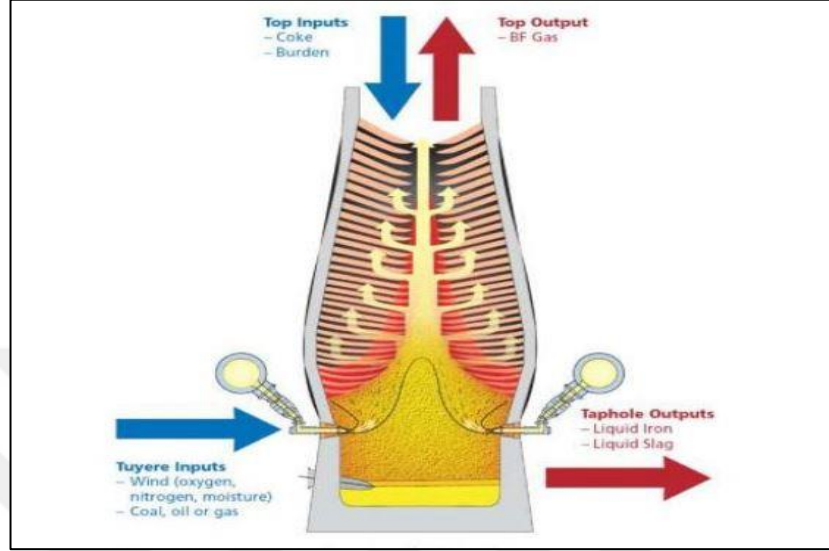
Yüksek fırınlarda sıvı ham demirin yanı sıra yf cürufu ve yf gazı gibi yan ürünler de oluşmaktadır. Sıcak madene geçemeyen oksitlenmiş bileşikler cüruf olarak elde edilmektedir.

Yüksek fırınlar proses ana ürünü olan sıvı ham demir eldesi için fırın tepe kısmından, demirli hammadde olarak kalibre, sinter ve pelet yüklenir. Cüruf yapıcı malzeme olarak dolomit, kireç taşı ve çakmak taşı ilave edilmektedir. Metalurjik kok, ısı ve enerji kaynağı olarak verilmektedir. Fırın tüyer bölgesinden ise ilave yakıt enjeksiyonları yapılmaktadır. Kok, tüyer önüne kadar katı ısınmış halde, demir oksitli malzemeler ise belirli periyotlardan geçerek reaksiyonlar sonucu hazneye damlalar halinde birikmektedir. Tesiste, hava üretimi blower veya körük üzerinden sağlanır. Sıcaklığı yaklaşık 150°C'dir. Tüyer bölgesinden yaklaşık 1100-1200°C'de yüksek fırın sobalarından geçerek fırına üflenir. Tüyer bölgesinden üflenen hava ile yakma işlemi gerçekleştirilir. Bu yanma hadisesinde havadaki oksijen ile enerji kaynağı olarak kullanılan kok reaksiyona girerek redükleyici gazı açığa çıkarmaktadır.

Demirin yüksek fırında oksitlerinden arındırılması CO (karbon monoksit) gazı ile olmaktadır. Tepkimeler sonucu açığa çıkan gazlar birçok reaksiyona girerek fırını kirli gaz olarak fırın tepesinden terk etmektedir. Kirlenen gaz siklonda baca tozu olarak büyük partiküllerinden arındırılır, ardından gaz temizleme tesisinde işlenerek temizlenerek fabrikanın muhtelif yerlerine yakıt olarak kullanılması için gönderilmektedir. Aynı zamanda soba ısıtma işleminde yakıt olarak kullanılmaktadır [12].

### 3.2.1. Yüksek Fırın Hareketi ve Gelişimi

Yüksek fırında hareket yönü ve çıkış temsili aşağıda bulunan Şekil 3.2. 'deki gibidir.



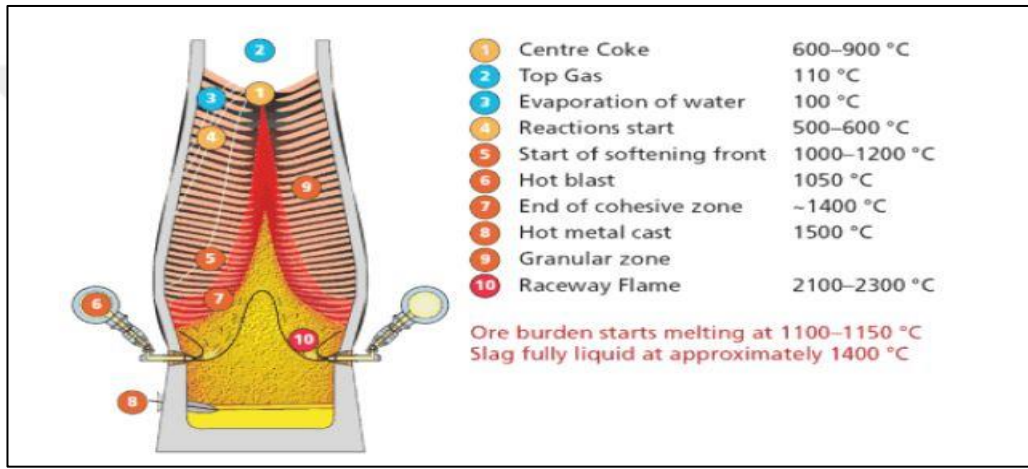
Şekil 3.2. Yüksek Fırın Ters Akım Şeması.

Fırın içi katman katman olacak şekilde doldurulmaktadır. Tüyer bölgesinden ısıtılmış hava üflenir. Kapasitelerine göre tüyer sayıları değişkenlik göstermektedir. Fırına üflenecek hava sobalarda  $1150^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar ısıtmakta ve redükleyici gaz formunda parçalarına ayrılmaktadır. Tüyer bölgesinde üflenen hava ile birlikte kokun yanması sonucu CO açığa çıkmaktadır.

Tepkime sonucu oluşan gaz  $2000-2250^{\circ}\text{C}$  alev sıcaklığına sahiptir. Tüyer önüne akkor halinde gelen metalürjik kok bu bölgede boşluk oluşturarak Şekil 3.2'te görüldüğü gibi yönelim oluşması sağlanmaktadır. Isınmış gaz, tepeye doğru akış sergileyerek fırın içinde birçok termokimyasal fonksiyonlar katmaktadır.

Kok, bosh ve karın bölgelerinde ısınmaktadır. Demirli malzemelerin oksitlerinden arındırılması ve geçirgenlik sağlar. Tepkimeler sonrası Fe indirgenir.

Yüksek fırın, yük ile üflenen sıcak hava arasında sıcak hava transferi sağlayarak karşılıklı ısıl değişim ve oksijenin cevherden redüklenmesiyle kütle transferi olarak da düşünülebilir. Yük aşağı doğru hareket ederken fırın yükü aşağı hareket etmesi sağlanır. Şekil 3.3' te görüldüğü üzere yüksek fırınlara ait temsili sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekilde gösterilen 1100 ile 1450 ° C aralık, malzemenin yumuşama ve ergimenin gerçekleşen bölümüdür. Fırın içerisinde sıcaklık değişimi oldukça değişkendir. Dikey eksende sıcaklık gradienti, yatayda oluşan sıcaklık gradientinden daha fazladır.



Şekil 3.3. Yüksek Fırına Ait Temsili Sıcaklık Değerleri.

20. yüzyılda yüksek fırınlar boyutsal olarak büyüme yönünde geliştirilmiştir. Bu dönemde üretim sınırlandırılmış bunun paralelinde hazne çapı belirli seviyelerin üstüne çıkamamıştır. Yük malzemelerinin geliştirilmesine paralel sinter ve pelet üretimi ile birlikte yüksek kaliteli üretime geçilmiştir.

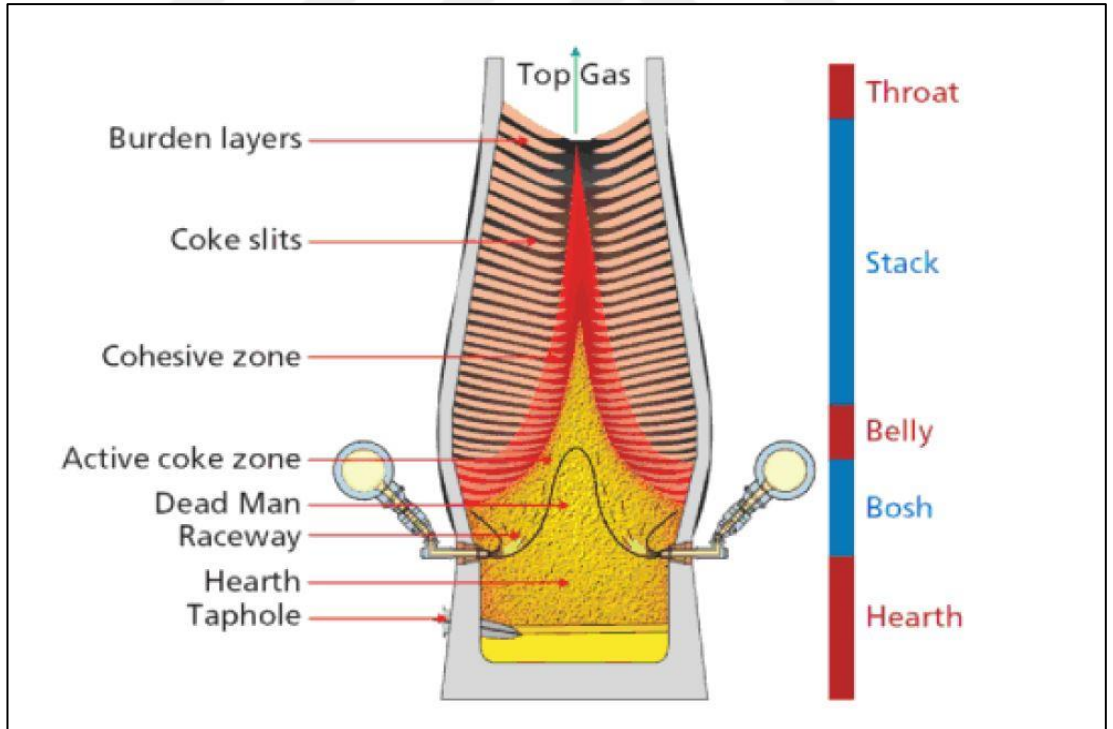
Hazne çaplarına göre yüksek fırın kapasiteleri kıyaslanmaktadır. Fırın hacmi, çalışma ve iç hacim olarak ikiye sınıfa ayrılmaktadır. Faydalı kısım, tüyer bölgesi ile tepe arasındaki bölge olarak açıklanmaktadır. Bu yıllara bakılacak olursa yüksek fırınlar 12 milyon tondan daha faz üretim sağlayabilmektedirler. Örneğin Oita yüksek fırını (no.2 NSC) 15,6 metrelik hazne çapıyla ve 13,5 milyon ton üretimiyle büyük fırınlardan biridir. Avrupada bulunan Thyssen-krupp Schwelgern (No:2) fırını 14,9 hazne çapı ve 14,9 milyon ton üretimiyle diğer bir örnektir.

### 3.2.2. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri

Yüksek fırın, yapı olarak konik ve dikey şekildedir. Dış kısım çelik zırh ile çevrili olup fırının içerisinde gerçekleşen tepkimeler neticesinde ısı oluşumunun gövde zırhına olumsuz etkisi olmaması için soğutma ekipmanları ve dayanıklı refrakter malzemeler ile korunur.

Yüksek fırın bölümleri 5'e ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Boğaz Bölgesi
2. Gövde
3. Bel
4. Karın
5. Hazne



Şekil 3.4. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri.

### **3.2.2.1. Boğaz Bölgesi**

Fırına yük malzemelerinin alındığı ve tepkimeler sonrası oluşan gazların fırını terk ettiği bölümdür. Bu bölümde çanlı ve çansız(basınçlı) sistem olarak bilinen tepe sistemi yer almaktadır. Yük malzemelerinin fırına tepe sisteminden içeri sağlıklı şekilde alınması sağlanmaktadır.

### **3.2.2.2. Gövde**

Tepkimeler sonrası hacimsel bir artış yaşanması sebebiyle rahat malzeme hareketinin sağlanması amacıyla boğaz alt kısmından bel bölgesine kadar genişleyen bölgeyi kapsamaktadır.

Bu kısımda şarj edilen demirli ve yakıt malzemeleri aşağı yönlü hareket etmektedir. Redükleme bu kısımda başlamaktadır. Verilen şarj malzemesi, yaklaşık olarak 8 saatlik bir sürede yayılmaktadır.

### **3.2.2.3. Bel**

Fırının en geniş bölgesi ve çap sabittir. Hacimsel azalış, cüruf ve metalin ergimesi sonrası bu kısımda olmaktadır.

### **3.2.2.4. Karın**

Üst bel kısmında hazne ile birleşen ters koni şeklideki yapıdır. Ergimenin olduğu ve tepkimelerin tamamlandığı kısımdır. Alt bölgeye doğru daralma başlamaktadır. Erimenin meydana gelmesi için hacim bu kısımda küçülmektedir.

### **3.2.2.5. Hazne**

Erimiş metalin ve cürufun biriktiği aynı zamanda dökümün alındığı alandır. Fırının en alt kısmında silindirik bir şekle sahiptir. Sıcak havanın üflendiği ve fırının boyutuna göre farklılık gösteren bakır soğutucular haznenin üst bölgesinde bulunmaktadır.

Bölge soğutması su ile yapılmaktadır. Hazne bölgesinde bulunan döküm deliği sayesinde sıvı ham demir ve cüruf fırın dışına alınabilmektedir. Döküm açma işleminde matkap kullanılırken uygun miktarda metal ve cüruf alınması sonrası çamurtopu ekipmanı kullanılarak döküm deliği çamuru enjekte edilir ve döküm işlemi sonlandırılır [12].

### **3.2.3. Yüksek Fırın Yardımcı Tesisleri**

Yüksek fırın yardımcı tesisleri aşağıda sıralanmıştır;

1. Hammadde Tesisleri
2. Sobalar
3. PCI Tesisleri
4. Döküm Holü
5. Refrakter Malzeme ve Soğutma Ekipmanları
6. Tepe şarj sistemi [13].

#### **3.2.3.1. Hammadde Tesisleri**

Kok ve cevherin fırına verileceği kısımdır. Beslenecek olan malzemeler önce eleme işlemine tabii tutulur sonra kantarlarda tartılarak fırın tepesinde gönderilir. Bu işlemler otomatik olarak yapılmaktadır. Yükleme işlemi fırın tepesinde katmanlar şeklinde cevher-kok olarak bantlar ve vagonetler ile yapılmaktadır. Tesiste yer alan kısımlar ise [13,14]:

- Malzeme bunkerleri
- Besleyici Ekipmanlar
- Konveyör Bantlar
- Tartım Ekipmanları
- Kantarlar

### **3.2.3.2. Sobalar**

Fırına gönderilecek hava, 1000 ile 1250 ° C' ye kadar ısıtılmış sobalardan geçmektedir. Sıcak hava, tüyer bölgesine gelerek fırın içine bu bölgeden üflenmektedir. Kok ile reaksiyona girmesi sonucu ilk tepkime gerçekleşmiş olur. Gönderilen hava yakma bölgesi oluşturmuş yüksek sıcaklık ve basınca sahiptir. Genel olarak fırınlarda üç adet soba yer almaktadır. Sobalar bir tanesi fırına hava üflemekeyken diğerleri devreye girmek için hazır hale getirilmektedir [14].

### **3.2.3.3. PCI Tesisi**

PCI, enjeksiyon tesislerinde hazırlanan koklaşmayan kömürün öğütülmesi sonrası elde edilen toz kömürün hava ile fırına üflendiği bir prosestir. Pulverize kömürün kullanım amacı yakıt oranını azaltmaktır. PCI kullanıldığında kok tüketiminde azalma ve demir üretim miktarında artış gözlemlenir.

Kömür enjeksiyonu sobalardan gelen hava ile fırına üflendiği bölgeden yapılmaktadır. Tüyerler, haznede bulunan döküm deliğinin 30-35 cm yukarısında yer almaktadır [13]. Adet olarak fırının büyüklüğüne bağlı değişmektedir.

### **3.2.3.4. Döküm Holü**

Döküm holünde maden ve cürufun taşındığı kanallar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra diğer bölge ve kısımlar şunlardır [14].

### **Maden ve Cüruf Alma Bölgesi (Döküm Deliği)**

Maden ve cürufun alındığı kısımdır. Fırın kapasitesine bağlı olarak delik sayıları değişmektedir. Yüksek verimli modern fırınlarda döküm deliği sayısı 2-4 aralığındadır. Fırın iç kısmındaki refrakter malzemelerden döküm delikleri oluşturulur. Döküm deliği çamuru kullanılarak delik boşluğu tıkanır ve dökümün açılması gerektiğinde matkapla delinerek döküm işlemi gerçekleştirilir. Döküm bittiğinde fırın içinden hava gelmeye başladığında haznenin boş olduğu

varsayılmaktadır. Döküm deliği tekrar çamur enjekte edilerek kapatılır. Yoğunlukları farklı olması sebebiyle cüruf, metal üstünde kalmaktadır [15].

### **Ana Maden ve Cüruf Kanalları**

Maden ve cüruf bazı fırınlarda iki ayrı delikten alınırken günümüzde modern fırınlarda teknolojinin gelişmesiyle aynı delikten alınmaktadır. Aynı delikten alınan sıvı demir ve cüruf birbirine karışmaz ve yoğunlukları farklıdır. Ayırma işlemleri bu sebeple aynı kanalda yapılmaktadır. Ana maden kanalı son kısmında cüruf köprüsü bulunmakta ve metalin üzerinde kalan cüruf öncesinde cüruf kanalından yoluna devam etmektedir. Maden ise köprünün alt tarafından geçerek maden kanalı vasıtasıyla torpidolara alınır ve Çelikhaneye gönderilir. Fırın proses şartlarına göre cüruf, parça veya granüle olmak üzere iki şekilde alınmaktadır [13,14,15].

### **Döküm Hol Vinci**

Dökümhanedeki malzemelerin nakli için kullanılan ekipmandır. Ağır malzemeler bu sayede kolaylıkla taşınabilmektedir.

### **Döküm Açma Ekipmanı (Matkap)**

Dökümü açma işleminde kullanılan hidrolik tahtikle çalışan bir ekipmandır. Sürekli olarak aynı bölgeden delinme işlemi gerçekleştirilmelidir. Delik boyunda ve delik içerisinde sıkıntılar meydana geleceğinden üretim kayıplar yaşanabilir ve buna bağlı olarak döküm deliği çamuru sarfiyatları artabilir. İlave olarak ekipmanın yanma riski de artabilir [15].

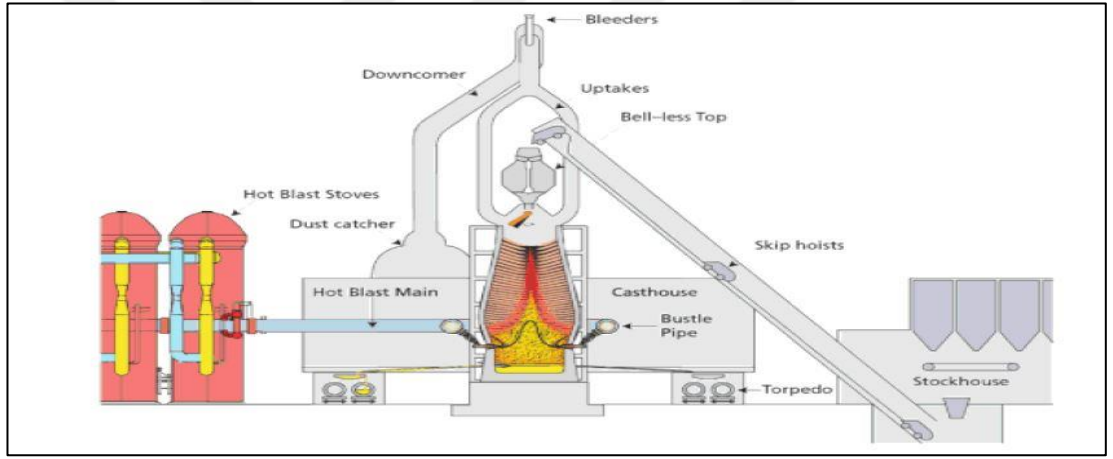
### **Döküm Kapatma Ekipmanı (Çamurtopu)**

Hazneden fırın dışına alınan maden ve cüruf seviyesinin azalması yani yeterli miktarda alındığı tüyer bölgesinden üflenen havanın delikten gaz olarak dışarı çıkması ile anlaşılabilir. Bu durumda döküm işleminin tamamlandığı ve çamur topu içerisine enjekte etmek için hazırlanan döküm deliği çamurlarının basılmasıyla döküm

kapatılmaktadır. Tüketilen çamur yüksek sıcaklık ile hızlı sertleşebilen özelliğindedir. Dökümün sağlıklı kapatılabilmesi ve çamurtopunun kolay hareket yapabilmesi için delik etrafı düzenli ve sorunsuz olmalıdır. Tahrikli tabanca diye adlandırılan çamur topu ekipmanının piston hızı ve ayarı önem arz etmektedir. Eğer çamur topu, çamur basma kabiliyetini düzgün sergileyemez ise bir sonraki açılacak dökümde sorun teşkil edebilir.

### 3.2.3.5. Refrakter Malzeme ve Soğutma Ekipmanları

Tüyer bölgesinde yanma işlemi sonrası sıcaklık 2000-2250°C civarındayken fırın üst bölgesi yani tepe de yaklaşık 150°C seviyelerine kadar düşmektedir [15].

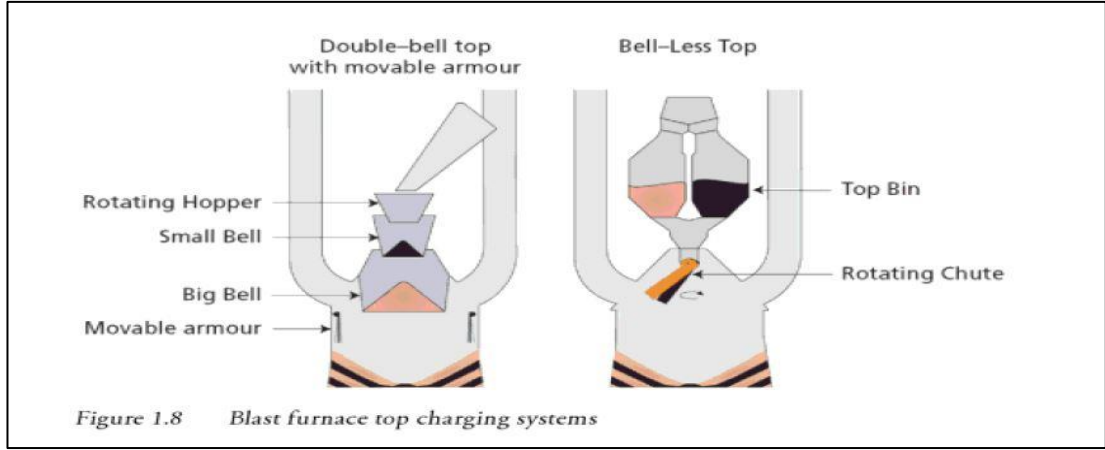


Şekil 3.5. Yüksek Fırın Ana Şablonu.

### 3.2.3.6. Tepe Şarj Sistemi

Yüksek fırın tepesi kapalı bir sisteme sahiptir. Modern yüksek fırınlarda genellikle yüksek tepe basıncıyla çalışma sağlanır. Bunlar iki şekildedir;

- Çift külahlı sistem, genellikle hareketli boğaz kısma sahiptirler.
- Döner oluk, şarj malzemesinin kolay bir şekilde dağıtılmasını sağlayan sistemdir.



Şekil 3. 6. Tepe Şarj Sistemi.

### Çift Külahlı Sistem (Çanlı)

Hammadde yüklemesi çanların çalışma sistematiğine bağlı olarak fırına alınır. Fırından gaz kaçmasını önlemek için çanlar açılır. Doldurma malzemesi fırının üzerine getirilir ve önce küçük çanağın üzerine dökülür ve homojen olarak dağılması sağlanır.

Büyük çan kapanınca küçük çan açılır ve küçük çanağın içindeki malzemeler büyük çanağın içine dökülür ve küçük çan kapanır. Büyük ve küçük çan arasındaki basınç aynı olduğunda büyük çan açılır ve şarj malzemesi fırına aktarılır. Yük dökme işleminin tamamlanabilmesi için basıncın eşitlenmesi gerekir [14,16].

### Tepe Basıncılı Sistem (Çansız)

En modern ve yeni sistem tepe basınçlı sistemdir. Doldurulacak malzemeler tepede bulunan bunkerlere boşaltılır. Bunkere malzeme alındıktan sonra üst sızdırmazlık valfi kapatılarak silonun ve fırının iç basıncı ile eşitlenmesi için eşitleme valfleri açılır. Eşitleme tamamlandıktan sonra malzeme fırın içerisine alınması için alt sızdırmazlık ve kesme valfleri açılarak kendi eksenini etrafında 360° dönebilen döner oluk vasıtasıyla malzeme fırının içine dağılımı sağlanır. Malzeme dağılımı belirlenen açılara göre homojen olarak duvardan merkeze yönelecek şekilde yapılmaktadır [14,16].

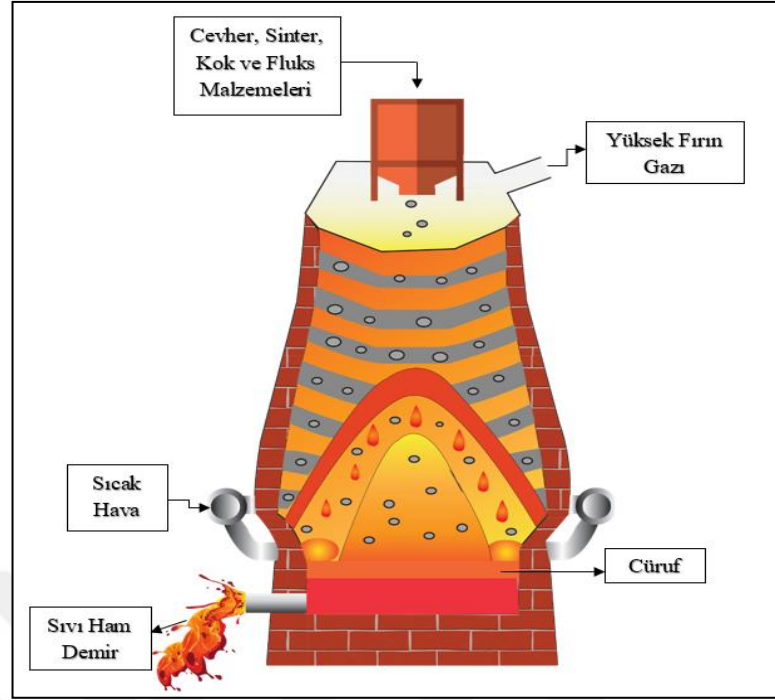
### 3.2.4. Yüksek Fırın Prosesi

Demir oksitli malzemenin indirgenme tepkimeleri ile sıcak maden elde edildiği bir termo kimyasal süreçtir. Tüketilen girdi maddeleri; demirli malzemeler (demir cevherleri), flaks, indirgeyiciler ve yakıt olarak tüketilen metalürjik koktur.

Fabrika içerisinde fırınlarda kullanılmak üzere kok fabrikalarından metalürjik kok ve sinter üretim tesisinden ana ürün olan sinter taşıma bantları ile hammadde tesislerinde bulunan bunkerlere boşaltılır. Eleme ve tartım işlemleri gerçekleştirilerek harmandaki miktarlara göre fırına beslenmesi sağlanır. Elek altı olan malzemeler tekrar kullanılmak üzere ilgili ünitelere toz bantları vasıtasıyla gönderilmektedir. Hammaddelerin fırına gelişi güzel verilmedi ve belirlenen şarj metodu ile düzgün şekilde homojen olarak alındığı unutulmamalıdır.

Fırın içine alınan malzeme, fırın içindeki gaz geçirgenliğini sağlaması ve tepkime hızını arttırmak açığa çıkan gazı verimli kullanmak adına katmanlı olacak şekilde gönderilmektedir.

Tüyer bölgesinden üflenen basınçlı sıcak hava ile fırın içinde ters akım oluşması sağlanır. Yanma tepkimesi sonrası açığa çıkan CO üst bölgelere doğru hareket sergiler ve redükleme işlemi ile demir indirgenerek hazneye ulaşmaktadır.



Şekil 3.7. Yüksek Fırın Çalışma Prosesi.

Fırını terk eden kirli gaz, temizleme tesislerinde partikül ve ince tozlardan arındırıldıktan sonra başta yüksek fırın sobaları olmak üzere fabrikanın farklı tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır.

### 3.2.5. Yüksek Fırın Hammaddeleri

Girdi olarak demir oksitli malzemeler ile birlikte cüruf yapıcı ve yakıt için kömür kullanılmaktadır. Yanma reaksiyonları başlangıcı için sıcak hava üfleme ihtiyacı olmaktadır. Kalibre demir cevheri hazır halde doğada bulunmaktayken kırma eleme işlemlerine tabii tutularak yüksek fırınlarda kullanılacak boyutlara getirilmektedir. Toz demir cevherlerini de proseste kullanılabilirliğini arttırmak için sinter, pelet üretimi olarak bir takım ön işlemlerden geçirilmesi sağlanır. Koklaşmayan kömürün öğütülmesi ile PCI ilave yakıt olarak girdi sağlarken kok tüketimini azaltarak maliyet olarak da tasarruf sağlamaktadır. Doğada saf halde bulunmayıp yer kabuğu üzerinde en çok bulunabilen elementler arasında olan demir daha çok oksitli bileşik olarak önümüzde gelmektedir. Proses verimliliği için demir tenörünün yüksek olması çok önemlidir [13].

### **3.2.5.1. Parça Cevher**

Tenör bakımından zengin ve doğada hazır elde edilen parça cevher, yüksek fırınlarda madenden çıkarıldığı şekilde kullanılmaktadır. Proseste kullanılmadan önce eleme işlemleri yapılmakta ve elek altı ince taneli malzemeler ise sinter tesisinde tüketilmektedir.

### **3.2.5.2. Sinter**

Sinterleme işleminde demir cevherine iyi özellikler kazandırılarak, doğrudan yüksek fırında kullanılmayan yüksek fırın tozları, haddehanelerde oluşan tufallar ve tesislerde açığa çıkan baca tozları gibi demir içeren atık malzemeler sinterleme işleminde kullanılabilir [17]. Başka bir tanımına göre; Erime noktasının altındaki sıcaklıklarda parçacıkların birbirine bağlanmasıyla tozun veya kompaktın ana bileşeninin mukavemetinin arttırıldığı bir ısıl işlemdir [18].

### **3.2.5.3. Pelet**

Toz cevherler yüksek fırınlar için yük malzemesi şartını kapsamamaktadır. Ancak tane boyutu kazandırılması ile bu sorun çözülebilir. Kıрма cevherin elenmesi veya zenginleştirilmesi ile elde edilen toz ve konsantre üretimi için üretim yöntemleri vardır. Tenör bakımından zengin, tane olarak ince, sert ve küresel malzemelerin yüksek fırın koşullarına uygun hale getirilmesi işlemi peletleme olarak adlandırılır. Granülasyon işlemi, aglomerasyon ve kütleme ile gerçekleşir. Yapısı küreseldir. Bu şekilde, bir yüksek fırında doğrudan kullanım için çok küçük olan zayıf cevherler veya zengin demir cevherleri oluşur [19].

### **3.2.5.4. Flaks Malzemeler**

Doğada saf halde bulunmayan demir, demir oksit bileşikleri ve gang adı verilen safsızlıklar ile beraber bulunmaktadır. Demir cevherindeki bu gang mineralleri yüksek erime sıcaklıklarına sahiptir ve eritilmesi çok zordur. Bu nedenle yüksek fırına demir cevheri ve metalurjik kok dışında fluks adı verilen cüruf oluşturan malzemeler eklenir.

Cüruf, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren bir yan üründür ve demirden daha yüksek erime sıcaklığına sahiptir. Yüksek fırın sıvı metalinin istenilen özelliklere sahip olabilmesi için cürufun teknik parametreleri bakımından önemlidir. Cüruf, metale geçemeyen safsızlıklardan oluşmaktadır [20].

### **3.2.5.5. Kireç Taşı**

Tüketilecek kireç taşının istenilen özellikleri kapsamı gerekmektedir. Uygun çelik üretimi için kaliteli kireç taşı tüketimi ile cüruf ilişkisi olması gerekir [21].

### **3.2.5.6. Dolomit**

Kimyasal olarak CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>'dir [22]. Flaks malzeme olarak tüketilmesinin yanında cüruf oluşturma özelliği yanında olması istenmeyen safsızlıkların (kükürt vb.) cürufa geçmesini sağlamasıyla önemli bir girdi malzemesidir.

### **3.2.5.7. Yakma Havası**

Enerji tesislerinin atmosferden aldığı ve basınçla sıkıştırarak üretmiş olduğu hava önceden ısıtılmış sobadan geçerek tüyer bölgesinden basınçlı olarak fırına üflenmektedir. Enerji tasarrufu ve fırın verimi açısından sobadaki ısıyı taşınması önemli bir aksiyondur.

### **3.2.5.8. Metalürjik Kok**

Tepkimelerin başlaması için yakıt olarak kullanılan önemli hammaddedir. Kokun, fırın içerisinde oynadığı faktör önemli olmakla beraber bunlardan kısaca bahsederek;

- Taşıyıcı yük görevi üstlenmesi.
- Geçirgenlik sağlaması.
- Çok iyi bir redükleyici olması şeklinde ifade edebiliriz.

Nem, kok külü, kükürt miktarı ve alkali bileşikler kok içerisinde istenmeyen safsızlıklardır ve kabul edilen sınırlar içinde stabil olması istenmektedir. Kokun yapısı, tane boyutu ve dayanımının yanı sıra porozitesinin de iyi olması gerekir. Kokun temel özelliklerine paralel yüksek fırınlarda tüketimi için olması beklenen özellikler;

- Rutubet: %5 (max.)
- Kok Külü: %12 (max.)
- Dayanım (M40): %75 (min.) S: %0,55 (max.) olması gerekir.
- Kalan özelliklerde stabil ve kararlılık istenmektedir. Alkali ( $K_2O + NaO_2$ ) %2 (max.) [23,24].

### **3.2.5.9. Pulvarize Kömür**

Maliyetlerin düşmesi için alternatif yöntemler ortaya atılmıştır. Proseste tüketilen kok oranını azaltıp yerine PCI ikame edilerek istenilen hedefe ulaşılmıştır. Bundan dolayıdır ki yüksek fırında tüketilen kokun belli oranda düşülmesi ve daha düşük maliyetli PCI ikame edilmesi sonucunda yüksek fırın yakıtı ve cevher talebini azaltmak için kullanılmaya başlanmıştır [25]. PCI'nin yüksek fırında tüketilmesinin temel amacı maliyet düşürülmesidir. Tüketilen kok miktarı, işletme fırın şartlarını bozmayacak şekilde azaltılabileceği minimum seviyedir. Yakıt olarak tüketilen kokun geçirgenlik, boşluklu yapı oluşumu ve taşıyıcı yük görevleri de bulunmaktadır [28].

Fırında gaz geçirgenliği sağlanarak ısı kayıpları azaltılarak yüksek oranda PCI tüketilebilir. Fırına enjekte edilen kömür tozları kok parçacıklarına vurması sonucu kokun dağılmasına sebep olmaktadır [26,28]. PCI ile kok miktarının düşürülmesi fırın gaz geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak bu olayı ortadan kaldırabilmek için kokun merkez tarafına yönlendirilmesi, fırın içinde iyi bir yük dağılımının sağlanması, kullanılan hammaddelerin özelliklerinin ve yakma veriminin artırılması gerekmektedir [26,28].

### **3.2.6. Yüksek Fırın Çıktıları**

Proses sonucu sıvı demir ana ürün olarak elde edilirken yan ürün bazında da cüruf ve gaz meydana gelmektedir.

#### **3.2.6.1. Sıvı Ham Demir**

Tüyerlerden verilen ısıtılmış havanın kok ile tepkimesi sonrası meydana gelen indirgeyici gaz, demiri oksitlerinden arındırarak hazne bölümünde shd birikmesini sağlamaktadır. Shd; %95 demir ve %5 Si, Mn, C, P ve S'ten oluşur. Kaliteli bir üretim için kaliteli bir shd ihtiyacı olmalıdır.

#### **3.2.6.2. Cüruf**

Cüruflar, proses içerisinde oksitleri yapısında toplamaktadır. Demir çelik üretiminde cüruflar, üretim tekniğine göre üç grupta toplanır. Bunlar yf, pota ve çelikhane cürufudur [20].

Cürufun görevleri arasında ilk olarak sıvı madende istenmeyen metal veya metal dışı safsızlıkları absorbe etmesi gelmektedir. Bunun yanı sıra, sıvı metal ile çevresi arasında bir tabaka oluşturarak hem metalin kirlenmesini hem de ısı kayıplarının önüne geçilmesini sağlar. Metal üzerinde yüzen cürufun yoğunluğu ve erime sıcaklığı daha düşüktür. Hacim arttıkça ihtiyaç olan ısı miktarı artacağından cüruf hacminin düşük olması istenmektedir [27].

#### **3.2.6.3. Gaz**

Yüksek fırında gerçekleşen indirgenme reaksiyonları sonucu, üst bölgeden tahliye olan yüksek fırın gazının kompozisyonları;  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$  ve  $CO_2$  şeklindedir. Gaz, fırından üç farklı şekilde ayrılır; hidrojene bağlanarak, karbonmonoksit içeriğindeki karbona bağlanarak ( $CO$ ), ve karbondioksit içeriğindeki karbona bağlanarak ( $CO_2$ ) [15].

Kirli gaz tozlarından arındırılarak tekrardan kullanılmak üzere üretim tesislerine gönderilir. Gaz temizleme işlemi sonrası temiz gaz ise yakıt olarak tüketilmektedir.

### 3.2.7. Yüksek Fırın Değişkenleri

Üretilen hava miktarı fırınların körüklerinin maksimum verimiyle alakalıdır. Hava miktarı (akış hızı) fırın proses parametrelerine, fırın yardımcı tesislerinin fırına üflenen hava miktarına tepkisine ve çelikhanenin sıvı metal gereksinimine bağlı olarak ayarlanabilir. Basınç, gönderilen hava miktarı ve gaz geçirgenliği durumuna göre ortaya çıkan bir durumdur.

#### 3.2.7.1. Basınç, Sıcaklık ve Hava Miktarı

Fırın prosesinde takip edilen basınç, sıcaklık ve hava miktarı önemli parametrelerdir. Aynı zamanda anlık ve trend değerleri ilgili scada sayfalarına kaydedilir. Hava akışı ve basınç miktarı istenilen aralığın dışında olursa uyarı verilmekte ve duruma müdahale edilmektedir. Hava akışının azalma eğiliminde olduğu anlarda acil durum hattı üzerinden ilgili birim ile görüşülmektedir. Ölçüm cihazları veya muhtemel sebepler kontrol edilerek hızlı aksiyon alınmalıdır. Döküm kapalı ise ve hava akışı sağlanamıyorsa ilk olarak dökümün açılması sağlanır, açık olan enjeksiyonlar kapatılmalıdır [12].

Çizelge 3.1. 5. Yüksek Fırın Basınç, Sıcaklık ve Hava Miktarı.

|                     | <b>Ölçü<br/>Birimi</b> | <b>Maks.</b> | <b>Min.</b> |
|---------------------|------------------------|--------------|-------------|
| <b>Hava Miktarı</b> | m <sup>3</sup> /saat   | 240.000      | 120.000     |
| <b>Basınç</b>       | bar                    | 3            | 1,25        |
| <b>Sıcaklık</b>     | °C                     | 1.200        | 800         |

### 3.2.7.2. Cüruf Bazitesi

En önemli cüruf parametresidir. Bazik karakterli bileşiklerin asit karakterli bileşiklere oranı ile hesaplanır. İki çeşit bazite hesaplaması bulunmaktadır.

B2:  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$

B4:  $\text{CaO}+\text{MgO} / \text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$

Yüklenen hammaddeye (alkali yük) bağlı olarak ve istenilen kükürt miktarını aşağılayabilmek adına çalışma aralığı değişmekle birlikte her iki baziklik de 0,7-1,0 aralığında olmalıdır.

### 3.3. REFRAKTER MALZEMELER

Refrakter malzemeler, yüksek sıcaklıklarda çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya iç bölgelerinde kullanılan, sıcaklık altında erimeyen, fiziksel ve kimyasal nitelikteki çeşitli korozif etkilere dayanabilen, fiziksel-kimyasal özelliklerini koruyan malzemelerdir. Buradan da anlaşıldığı üzere evlerimizde kullanılan sobalarda, ağır sanayi fabrikalarda, ilgili tesislerin yapımlarında bu tür malzemeler kullanılmaktadır [29].

Refrakter malzemeler, tamamen metal veya alaşım olmayan, ancak metalik bir bileşime sahip olabilen ve  $1500^\circ\text{C}$  refrakterliğe sahip malzeme ve ürünlerdir [29]. Malzeme sınıflandırmasında metal olmayan inorganik bir malzeme bünyesinde bulunan refrakter malzemeler birçok sektörde yer almakta bunlara örnek olarak; Çimento sanayi, cam ve seramik fabrikaları verilebilir [30].

Refrakter malzemeleri ilgili standartlar kapsamında üç gruba ayrılabiliriz:

- Atese karşı mukavemet göstermesi ( $1500^\circ\text{C}$ )
- Düşük sıcaklık sınıfı refrakter min.  $500^\circ\text{C}$
- Yüksek refrakter sınıfı min.  $1800^\circ\text{C}$  [30].

Seramik teknolojisi kapsamında bir parçası olan refrakter grubu birçok sanayi sektörü için üretilmekte ve yan ürün olarak kullanılmaktadır. Fırınlarda uygulanan prosesler fırın tipine, üretim teknolojisine ve üretim tipine göre değişmekte olup, değişen her proses farklı tip ve özellikte refrakter tüketimini ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple ihtiyaçları karşılamak adına çeşit bakımından farklı türleri kapsayan birçok refrakter ürün meydana getirilmektedir [29].

Genel özellik bakımından refrakter malzemeler:

- Yüksek erime noktası ve elektrik iletkenliğinin zayıf olması.
- Yüke maruz kalındığında kırılabilirlik.
- Oksidasyona uğramayıp stabiliteye sahip olmak.
- Heterojen olma durumu.

### **3.3.1. Refrakter Malzemelerin Genel Özellikleri**

#### **3.3.1.1. Mineral ve Kimyasal Yapı**

Metalurjik proseslerde kullanılan refrakter malzemeler asidik, bazik ve nötr olarak 3 grupta toplanmaktadır. SiO<sub>2</sub>'nin temel bileşenlere oranı malzemenin asitliliğini belirler. Bazik karakterdeki cüruflar bazik, asidik cüruflar ise asidik refrakterleri etkilemezler. Ancak bu kimyasal özelliğin yanı sıra malzemenin gözenekliliği de önemli bir rol oynar. Gözenekli yapıya sahip malzemeler hızlı ısınmaktadır. Farklı sıcaklıklarda mineralojik yapısına bağlı kristal farklılık oluştururlar. Bu nedenle, yoğunluk bakımından değişiklikler ortaya çıkar [31].

#### **3.3.1.2. Çekme ve Genişleme**

Şamot ve manyezit tuğlalar üretimleri sırasında büzülürken, silika tipi tuğlalar genişler. Aşırı hacim değişikliği çatlaklara neden olur. Çekme meydana gelmesi genellikle malzemenin üretim esnasında yeterince pişmemesinden veya refrakter özelliğinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Genişletmenin nedeni, malzemenin yapıldığı hammaddenin parça boyutunun yetersiz olmasıdır [31].

### **3.3.1.3. Porozite ve Yoğunluk**

Sıcaklık arttıkça, katı hacminin genişlemesiyle gözeneklilik azalır. Gözeneklilik azaldıkça refrakter malzeme yumuşar. Bu özellik malzemenin karakterini belirler. Gözenekliliğin azalmasıyla orantılı olarak yoğunlukta bir artış vardır. Erime sırasında refrakter malzemenin yoğunluğunun değişimi büyük önem taşımaktadır. Erime olayı ile hacim değişir ve malzemenin fiziksel özelliklerinde büyük sapmalar olur [31].

### **3.3.1.4. Basınç ve Sıcaklık Direnci**

Refrakter malzeme kullanımı sırasında genellikle basınç, gerilim gibi çeşitli kuvvetlerin etkisi altındadır. Yumuşatma sonucu boyut değişikliği olması durumunda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle normalde yüksek basınçta kırılan malzeme fırın sıcaklığında bu değerden çok daha düşük bir sıcaklıkta kırılabilir. Sıcaklığın etki süresi üzerinde etkisi vardır [31].

### **3.3.1.5. Isıl Özellikler**

Refrakter malzemelerin termal özellikleri, özgül ısı, termal iletkenlik ve termal genişlemedir. Malzemenin özgül ısısı ve ısı iletkenliği kullanım yerine göre farklı değerlendirilmektedir. Ancak malzemenin ısı iletkenliği, bünyesinden gelen ısıya karşı genişmeyi temsil ettiği için fonksiyonel bir etkiye sahiptir. Bu nedenle fırın tasarımlarında kullanılan refrakter malzemenin ısı iletkenliği, çalışma sırasında zarar görmemesi için özenle seçilir [31].

### **3.3.1.6. Isıl Çatlama ve Parçalanma**

Sıcaklık değişimlerine karşı direnç, termal şok direnci olarak tanımlanır. Çalışma sırasında malzemenin yüzeyi ile merkezi arasında ısınma ve soğuma veya sıcaklık dalgalanmaları meydana gelir ve bunun sonucunda genişleme gerilmeleri oluşur. Bir nesne her yönden soğutulduğunda, yüzey boyunca çekme gerilmeleri ve merkezde basma gerilmeleri oluşur. Böylece ısı gerilmeleri malzemenin dayanımını aşarsa çatlamalara ve malzemenin parçalanmasına neden olur [31].

### 3.3.1.7. Mekanik Mukavemet

Malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı refrakter malzemelerin soğukta basınç dayanımını etkiler. Refrakter tuğlalar, oda sıcaklığında çok az deformasyon gösterir. Farklı tane boyutu ve gözenek dağılımı ve yüksek sıcaklıklarda yapıdaki farklı fazlar arasındaki gerilmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000 °C'ye kadar durumunu korur. Daha yüksek sıcaklıklarda, cam fazının artmasıyla aşınma direnci azalır [31].

### 3.3.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması

Refrakter malzemeler birçok kritere göre sınıflandırılabilir ve bu sınıflandırmalar pratikte az ya da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Refrakterlerin sınıflandırılması oldukça zordur çünkü sınıflandırma için dikkate alınan kriterler değiştikçe yeni bir sınıflandırma ortaya çıkacaktır. Çünkü dikkate alınması gereken kriterler çok fazladır ve yapılacak sınıflandırmaların çoğunda bazı sınıflar birbirine girmektedir [29].

#### Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma

- Silis bazları (kuvartz)
- Alümina Silikatlar (samot)
- Magnezyum Bazlılar (magnezit)
- Kromit Bazlılar (kromit)
- Karbon Bağlılar (grafit)
- Zirkon Bileşikleri (zirkon oksit)
- Karbid, Silis ve Nitridler
- Diğer oksitler [29].

Bu sınıflandırmada refrakterliği veren esas madde kriter olarak alınmıştır. Magnezit-krom ve krom-magnezit refrakterler magnezyum bazlı ve kromit bazlı sınıflar arasındaki birbirine girmeler için iyi bir örnek teşkil eder [29].

## **Kimyasal Karaktere Göre Sınıflandırma**

Asidik Karakterli Refrakterler (Alümina-Silikat Grup):

Refrakter kil veya kaolinin piserilmesiyle elde edilen ve esas olarak  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$ 'den oluşan, plastikliği olmayan ve suyla hidrolize olmayan ve ıslanmayan bünye [29].

- Samot
- Silika ( $SiO_2$ )
- Silimanit ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ )
- Mullit ( $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ )
- Zirkon ( $ZrO_2 \cdot SiO_2$ )
- Zirkonya ( $ZrO_2$ )

### **Nötral Karakterli Refrakterler:**

- Boksit ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$  veya  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )
- Alümina ( $Al_2O_3$ )
- Karbon (Karbon bileşenli refrakterler: zift, grafit, katran)
- Silisyum karbür ( $SiC$ )
- Kromit ( $Cr_2O_3$ )

### **Bazik Karakterli Refrakterler:**

- Magnezit ( $MgO$  periklas kristali)
- Magnezit-Krom ( $MgO$  ve  $Cr_2O_3$ )
- Dolomit ( $MgO \cdot CaO$ )
- Forsterit ( $2MgO \cdot SiO_2$ )
- Krom-Magnezit ( $Cr_2O_3$  ve  $MgO$ )
- Kromit ( $Cr_2O_3$ )

## **Hammadde Orijinine Göre Sınıflandırma**

- Tabii Refrakterler
- Sentetik Refrakterler

Berilyum oksit, silisyum karbür gibi bazı refrakterler yalnız sentetik, magnezitlerde olduğu gibi bazı refrakterler ise hem tabii ve hem de sentetik olarak üretilmektedir.

## **Ergime Noktasına Göre Sınıflandırma**

- Normal Hizmet Refrakterleri: Ergime noktası 1580- 1780 °C arasında olanlar.
- Ağır Hizmet Refrakterleri: Ergime noktası 1780- 2000 °C arasında olanlar.
- Süper Hizmet Refrakterleri: Ergime noktası 2000 °C' nin üzerinde olanlar.

### **3.3.3. Döküm Deliği Çamurları**

Yüksek fırın döküm deliği çamuru, haznede biriken sıvı ham demir ve cürufun alınma işlemi tamamlandıktan sonra döküm deliğini tıkamak veya durdurmak için kullanılan ve mekanik olarak veya günümüzde daha yaygın olarak hidrolik tahrikli bir tabanca kullanılarak döküm deliğine enjekte edilen malzemedir.

Döküm deliği çamuru, yüksek fırının iç basıncına ve birikmiş demir ve cürufun ağırlığına dayanacak kadar mukavemetli olmalı, ancak döküm açılması gerektiğinde de delinebilme özelliğine sahip olmalıdır.

#### **3.3.3.1. Silisyum Karbür**

##### **Özellikler:**

- Fe içermez, kırıntılı yapıya sahiptir,
- Alüminadan daha sert daha malzeme olması,
- Kararlı ve dayanımı yüksek ürün olması,
- Uzun ömürlü olmasıdır.

**Kullanım sistemleri:**

- Basınçlı Kumlama donanımları
- Enjeksiyon Kumlama donanımları

**Kullanım alanları:**

- Zımpara, bez ve cilalama malzemesi
- Seramik zımpara diskleri ve malzemeleri
- Aşınmaya karşı koruyucu ve ateşe dayanıklı ürünler
- Temizleme, çapak alma, kaplama, kir-pas sökümü, pürüzlendirme ve metallerin boya, kaplama, toz boyama, anodizasyon işlemleri öncesinde kumlanması için uygun bir malzemedir [32].

**3.3.3.2. Kahverengi Alüminyum Oksit****Özellikler:**

- Saflık %96-99,
- Mukavemetli, sert ve yüksek basınca karşı dirençli,
- Aşınmaya karşı direnç daha yüksektir,
- Normal şartlarda demir içermez,
- Islak ve kuru kumlama uygulamalarına uygun bir yapısı vardır.

**Kullanım alanları:**

- Otomotiv ve havacılık sektöründe malzeme temizliğinde,
- Metalizasyon kaplama ve boya işleri öncesinde yüzey hazırlama işlemlerinde,
- Metal ve metal dışı malzemelerin matlaştırılmasında,
- Boru hatlarında ve cam dekorasyon işlemlerinde,
- Teflon ve kaplama öncesi yüzey pürüzlendirmesinde,
- Taş ve zımpara imalatında,
- Taş mermer-granit kesimi, refraktör sanayinde yaygın olarak kullanılır [33].

### 3.3.3.3. Boksit

Boksit sertliği 1-3, yoğunluğu 2,5-3,5 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişen alüminyum oksit ve hidroksitlerin bir karışımıdır. Dünyadaki metal alüminyum üretiminin %90'ı bu cevherden temin edilmektedir.

Bu bakımdan boksit cevheri dünya ticaretinde önemli bir yer tutmaktadır. Boksit, diyasporit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O), böhmit [AlO(OH)], gipsit (hidrarjilit) [Al(OH)<sub>3</sub>] minerallerinin bir karışımı olup genel olarak silis, demir oksitler ve TiO<sub>2</sub> içermektedir. Rengi, içerdiiği demir miktarına bağlı olarak sarı, kahverengi ve kırmızı olabileceği gibi kirli-beyazdan, griye kadar değişmektedir. Boksitler aşığağı açıklanığı üzere üç grupta sınıflandırılır.

Boksit üretimi genel olarak açık ve yeraltı madencilik yöntemleri kullanılarak yapılmakta olup, üretimin %90'ı açık işletmelerde gerçekleştirilmektedir. Söz konusu açık işletmelerde dragline, scraper, ekskavatör ve kamyon bileşimi olan kazı ve nakliye araçları kullanılmaktadır. Yıllık üretim kapasiteleri birkaç bin tonla, birkaç milyon ton arasındadır. Bazı maden işletmelerinde üretim 10 milyon tona kadar çıkmaktadır. Bu üretimlerin %85'i alüminyum üretmek amacıyla alümina üretimine, diğer kısım refrakter sanayisine ve diğer tüketim birimlerine aktarılmaktadır.

Bu amaçla kullanılan boksit en az %50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve en fazla %15 SiO<sub>2</sub> içermelidir. Boksitten, metalik alüminyumun yanında bazen galyum ve vanadyum gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Refrakter sanayiinde de yüksek alüminalı ateş tuğlası, döküm maddelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [34].

### 3.3.3.4. Korindon

Korindon bir alüminyum oksit mineralidir. Nadir bulunan bir taştır. Değerli taşlar arasında Elmas'tan sonra en sert olan taştır. Mohs sertlik skalasına göre sertlik derecesi 9'dur. Korindon ayrıca bir grubuda temsil eder. Kendisine bağlı alt taşlar vardır. Korindon Grubu'na ait taşlardan en bilinenleri Safir (Gökyakut) ve Yakut (Ruby)'dir [35].

### 3.4. DÖKÜMHANE OPERASYONU

#### 3.4.1. Hedefler

Yüksek fırınlar için döküm operasyonu oldukça önem arz etmektedir. İyi bir döküm operasyonunun temel amaçları şu şekilde özetlenebilir;

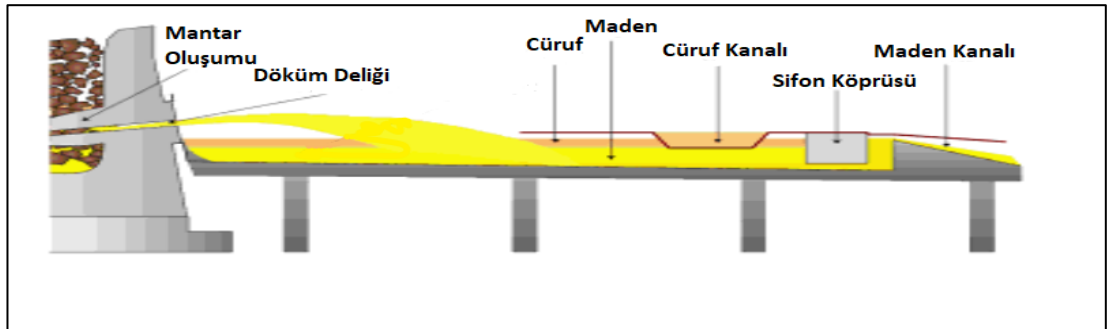
- Cüruf ve demirin fırından tahliyesi prosesi etkilemeyecek oranda olmalıdır.
- Cüruf ve demir iyi bir şekilde birbirinden ayrılabilmelidir.
- Demir doğrudan demir potasına cüruf da cüruf potasına gönderilebilmelidir.

Hazneden sıvı demirin alınması stabil proses parametrelerin devamı için kritiktir. Oluşmakta olan hasarlar her zaman anında görünür olmayabilir [36].

#### 3.4.2. Haznede Sıvı Ham Demir ve Cüruf

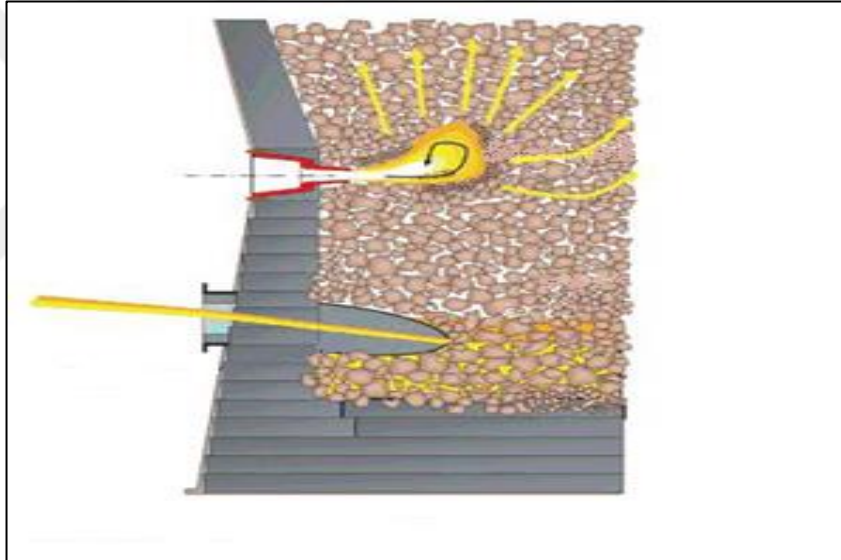
Yüksek fırın operasyonu cüruf ve sıvı demir üretilerek sonlanmaktadır. Bu iki akışkan, yüksek fırının kok dolu haznesi kısmından aşağıya düşmektedir. Akışkanlar birbirlerinden farklı yoğunluklara sahiptirler; demir ( $7,2 \text{ t/m}^3$ ), cürufun ( $2,4 \text{ t/m}^3$ ) üç katı kadardır.

Bu yoğunluk farkı iki akışkanın birbirinden kolaylıkla ayrışmasını sağlamaktadır. Bu ayrışma fırın dışarısında yapılıyor olsa dahi fırın içerisinde de döküm başlatılmadan önce ayrılmış durumdadır.



Şekil 3.8. Ana Maden Kanalında Maden Ve Cürufun Ayrıştırılması.

Dökümhane ana maden kanalı bir önceki dökümden kalan sıvı malzeme içerecektir. Döküm başlatıldığında akmakta olan demir kalan malzemenin üzerinden akarak sifondan geçecektir. Sifondan geçen sıvı demir hareketli oluk vasıtasıyla torpedolara dökülecektir. Cüruf, sıvı demirin üzerinden hareket etmektedir. Bu sebeple sifon bölümüne geldiğinde sıvı demir aşağıdan hareket edecek ve cüruf da cüruf kanalına yönlendirilerek ayrışacaktır. Cüruf ayrışması sağlandıktan sonra granülasyona yönlenecek ya da cüruf potasına boşaltılacaktır. Cüruf granülasyon kullanılan proseslerde cüruf içerisinde pik karışmamalıdır. Karışması halinde cüruf havuzunda patlamalara sebep olabilir. Döküm deliği haznenin aşağısında bulunur ve bu sayede var olan sıvı malzemenin olabildiğince döküm ile alınması sağlanır. Daha aşağı kısımlarda bulunan salamander sadece fırının ömrü sonlanınca kullanılmaktadır [36].



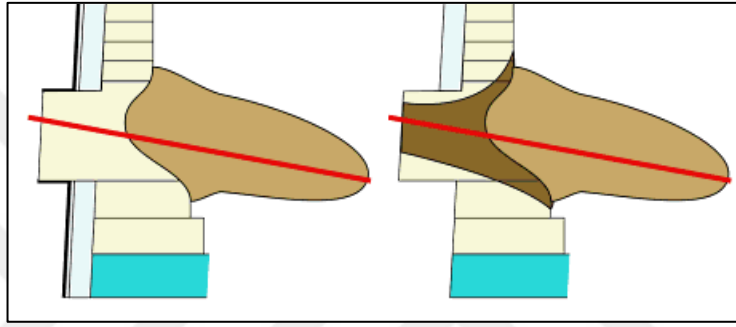
Şekil 3.9. Yüksek Fırın Haznesi.

### 3.4.3. Döküm Deliğinden Maden ve Cüruf Alınması

Fırının haznesinden sıvı malzemenin alınması döküm deliklerinden sağlanmaktadır. Döküm deliği sayısı 1 den 5'e kadar olabilir. Bu sayı fırının boyutuna bağlıdır. Yüksek kapasitedeki gelişmiş fırınlar 2 ile 4 arasında değişen döküm deliği bulundurmaktadır. 2 veya daha fazla döküm alma deliği bulunduran fırınlarda sırasıyla döküm alınabilmektedir. Bu sayede döküm yollarının temizlikleri ve tamirleri daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Döküm delikleri özel refrakter malzeme kullanılarak

yapılmaktadır. Matkap motoru vasıtasıyla döküm deliğinde bulunan refrakter malzeme(çamur) delinerek açılmaktadır.

Döküm delikleri şekillendirilebilir refrakter malzeme ile kapatılır. Bu malzeme hızlı bir şekilde sertleşerek deliği kapatmaktadır. Yüksek fırın uygulamasında bu döküm deliği refrakter çamuru hazneye doğru uzanmaktadır. Bu duruma döküm deliği mantarı (taphole mushroom) denilmektedir. Bu oluşum döküm deliğinin orijinal refrakter yapısını korumaktadır.



Şekil 3.10. Döküm Deliği Mantar Oluşumu.

Döküm delikleri yüksek fırınlarda en savunmasız bölgeler olarak adlandırılabilir. Proses süresince manuel müdahaleler, yırtılmalar ve yüzey aşınmalarına maruz kalmaktadırlar [36].

Döküm deliklerine zarar veren durumlar aşağıda listelenmiştir;

- Düzensiz delme pozisyonu,
- Oksijen vurulması,
- Delik kapatılırken döküm deliği çamurunda sızıntı olması,
- Fırın içerisinden döküm deliğine su sızıntısı,
- Döküm deliği refrakterlerindeki gaz sızıntıları,
- Cüruf ve sıvı ham demirin etkileri,

Cüruf ve sıvı ham demirin döküm deliğinden akışı hazne içerisinden belirlenirken aynı zamanda da döküm deliğinin özellikleri tarafından da belirlenmektedir;

- Döküm deliğinin uzunluğu, refrakter çamur kalitesi ve tıkama uygulaması önemlidir.
- Döküm deliğinin çapı,
- Döküm deliğindeki yüzey bozuklukları,
- Fırın içerisindeki basınç, üfleme basıncı ve sıvı hidrostatik basınçtan oluşmaktadır.

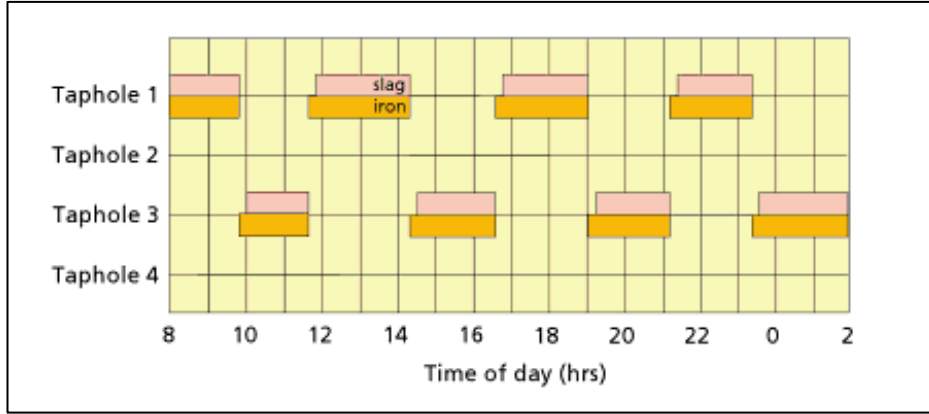
Döküm deliği, döküm süresince aşınmaya uğramaktadır. Özellikle de cüruf akmaya başlamasıyla aşınma daha fazla olabilmektedir. İyi bir döküm rejimi sağlanması karşın hazne sıvısının seviyesinde değişkenler ortaya çıkabilmektedir. Döküm deliği çamurunun kalitesi, cüruf ataklarına karşı direnci tarafından belirlenir. Döküm deliğinin uzunluğu enjekte edilen döküm deliği çamuru miktarı tarafından belirlenmektedir. Genellikle gerekli refrakter çamur ihtiyacından daha fazla çamur enjekte edilmektedir. Fazla çamur enjektisi iç kısma zorlama yaparak içeriye doğru mantar (mushroom) oluşumuna sebebiyet verir. Bu mantar oluşumu döküm deliği bölümünde aşınmalara karşı korunma sağlamaktadır. Büyük fırınlarda mantar oluşumu daha büyük olmakta ve daha uzun döküm delikleri oluşmaktadır. 11 metre hazne çapına sahip fırında 2,5 metre döküm deliği uzunluğu olması beklenirken 14 metre hazne çapına sahip fırınlarda ise 3 metre döküm deliği uzunluğu olabilmektedir.

#### **3.4.4. Döküm Rejimi**

Yüksek fırından ortalama olarak günde 8-14 döküm alınmaktadır. Bu dökümler 90 ile 180 dakika arasında sürebilmektedir. Döküm sonunun geldiği fırının üfleme yapmaya başladığında anlaşılmaktadır. Bu üfleme, tüyer bölgesinden kaçan gazın döküm deliğinden çıkmasıyla oluşmaktadır.

Fırına şarj edilen malzeme, fırın içerisinde 6-8 saat kalmaktadır. 2 saatlik döküm alındığı takdirde fırın içerisindeki malzemenin 3'te 1'inin sıvı demir ve cürufa dönüştüğü anlaşılmaktadır.

Şekil 3. 11.' de iki döküm deliğine sahip fırının sırasıyla düzenli bir şekilde aldığı döküm gösterilmektedir.



Şekil 3.11. İki Döküm Deliğine Sahip Yüksek Fırında Döküm Alınma Durumu.

Döküm deliği kapatıldığında ya da açıldığında eğer sıvı malzemenin akışı düşük ise haznedeki sıvı seviyesi artacaktır. Bu durum uzun süre devam eder ise haznedeki sıvı seviyesinin artışı fırın prosesini aşağıdaki şekillerde etkileyecektir:

- Deadman bölgesindeki kokun uyguladığı taşıyıcı kuvvet artan sıvı seviyesi ile birlikte artacaktır. Bu durum da malzemenin aşağı doğru iniş hareketini yavaşlatacaktır.
- Cüruf seviyesi çok fazla ise tüyerlere ulaşabilmekte ve gaz akışı olumsuz etkilenerek duvar bölgelerinde gaz akışını hızlandırabilmektedir. Ayrıca bu durumun yaşanması malzemenin redüksiyonunda zayıflamalara hatta fırının soğumasına dahi sebep olabilmektedir.
- Cüruf, aktif kok bölgesine sıçrayarak gaz dağılımını etkileyebilir.
- Eğer sıcak metal seviyesi tüyerlere ulaşabilecek kadar yüksek seviyelerde ise tüyerlerde yanmaya sebebiyet vererek soğutma sistemi suyunun fırın içerisine boşalmasına neden olabilir.

En olumsuz senaryo örneğinde tüyer kötü bir şekilde yanma yapabilir ya da üfleme borusuda zarar görerek dışarıya kok taşmasına sebep olabilir. Bu durum acil duruşa neden olacaktır.

Bu olumsuzluklardan kaçınmak için haznedeki sıvı seviyesi kontrol altında tutulmalıdır. Modern fırınlarda sıcak metal ve cüruf miktarı kontrol edilerek proses bu çerçevede gerçekleştirilir [36].

### 3.4.5. Matkap Motoru ve amur Topu Ekipmanları

Döküm deliği performansının iyi olabilmesi için bu iki ekipman çok önemlidir. Çamur topu her döküm deliği kapatıldıktan sonra bir sonraki döküm için temizlenmeli ve hazırlanmalıdır. Çamur topunun rahat hareket edebilmesi ve bir engelle karşılaşmaması için döküm deliği etrafı temiz tutulmalıdır.

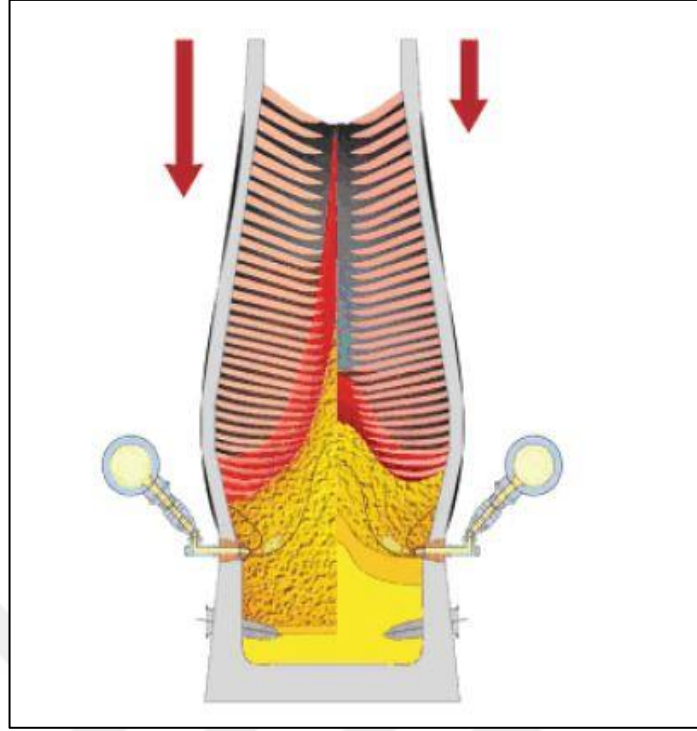
Çamur topunda pistonların hızı ve basıncı deliğin istenilen şekilde kapatılabilmesi için ayarlanmalıdır. Eğer refrakter çamur kısmi olarak deliği doldurursa bir sonraki döküm deliği açma işlemleri daha zor olacaktır.

Döküm açma operasyonu mümkün mertebe aynı kısımdan gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde çamurtopu ile yapılan döküm kapatma işleminde daha az çamur kullanılacak ve bu da döküm delik boyunun istenilen uzunlukta olmamasına vesile olacaktır. Ayrıca ekipmanda yanma riskini de artıracaktır [36].

### 3.4.6. Haznedeki Sıvı Malzemenin Seviyesi

Haznedeki sıvı seviyesi her zaman olabildiğince düşük seviyede tutulmalıdır. Hazne hiçbir zaman üretilen sıvı malzemenin kalıntılarının tampon bölgesi olarak kullanılmamalıdır. Bu sebepten dolayı normal seviyenin üstüne çıkıldığı vakit proses direkt olarak etkilenmektedir.

Haznedeki sıvı seviyesi, yüksek fırın içerisinde üfleme basıncı ile beraber yukarı doğru kuvvet uygulayacaktır. Bu kuvvetin artmasına izin verilmesi malzemenin aşağı doğru yaptığı hareketi yavaşlatacaktır. Şekil 3. 12' de hazne seviyesinin artışı gösterilmiştir [36].



Şekil 3.12. Hazne Seviyesi.

Gösterildiği üzere haznedeki sıvı seviyesinin artması üflenen havanın yönünü saptırarak duvarlara doğru yoğunlaştıracaktır. Tüyer önündeki kok, cüruf ile beraber süzülecektir ve bu da tüyer önünde daha az gaz üretimine sebep olacaktır. Bu misalde bosh bölgesi normalden daha fazla ısı yüküne maruz kalacaktır ve kohesif bölgenin koku artacaktır. Ancak aynı zamanda da fırının merkezindeki kohesif bölge düşecektir. Çünkü merkezden geçmekte olan gaz miktarı azalacaktır. Üfleme basıncı da yüksek olacak ve malzeme hareketi de yavaşlayacaktır. Bu durumlarda fırında askılanma yaşanabilir. Devamında kayma durumunda, tüyerlere cüruf dolma tehlikesi olabilir.

Bunlara ek olarak gövdenin duvar bölgelerinde de sıcaklık artışı gözlemlenecektir. Fırın içerisindeki gaz duvar bölgelerine yakın hareket edecektir. Bu bölgelerdeki soğutucularda sıcaklık artışına bağlı olarak ısı artışı olacaktır. Bu da ısı kayıplarını artıracak, fırın verimliliğindeki kayıplarla beraber fırın soğuma tehlikesine girecektir. Böyle bir senaryoda tekrar prosesin stabil hale getirilebilmesi için döküm geciktirilmeden açılmalıdır [36].

### 3.4.7. Döküm Erteleme

Birçok üretim tesisinde döküm rejimi, hesaplanarak ve döküm arası sürenin uzunluğu gözlemlenerek yapılmaktadır. Bu ara boşluk zaman, dökümün kapatılmasıyla diğer bir dökümün açılmasına kadar geçen süredir. Bu süre üretim miktarı, döküm deliği sayısı ve döküm sayısı tarafından belirlenir. Dökümün iyi olması, haznedeki sıvı malzemenin akış oranının kontrolünün sağlanmasıyla gerçekleşir. Döküm deliği açıldığında döküm iyi gelmiyorsa akışın iyileştirilmesi gerekmektedir. Örneğin bu iyileştirme tekrardan deliğin açılması veya daha büyük matkap ile açılma yapılması ile olabilir. Eğer zayıf akışın devam etmesine izin verilirse fırın döküm alınan miktardan daha fazla içeride üretim yapacaktır. Bu da fırın içerisinde sorun yaratmaktadır.

Döküm ertelenmiş ya da döküm hızı üretim hızından daha yavaş olur ise, her iki olasılıktan birinin gerçekleşmesi dahilinde, haznedeki sıvı malzemenin seviyesi kok yatak boşluğunu doldurabilir. Kok yatağının boşluğu tam olarak bilinmemektedir. Yapılan çalışmalar bu boşluğun %20 ve %30 arasında değişkenlik gösterdiğini işaret etmektedir. Ancak tam olarak bir ölçüm metodu bulunmamaktadır. Ayrıca bu kok yatağı boşluğu, hem merkezde ve çevresinde hem de aşağıdan yukarıya değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple bir uçtan bir uca her yerinde kok yatağı aynıdır denilememektedir. Kok kalitesi kok yatağı boşluğunda güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Fırının yükseklerinde parçalanmaya uğrayan kokun ince küçük boyutta kok üretmesi kok yatağını olumsuz etkilerken, daha büyük parçalardan oluşan kok daha yoğun düzende bir kok yatağı oluşturacaktır.

Örneğin doldurma hızını göstermek adına 8,5 m hazne çaplı, tüyer ile döküm deliği arası 2,6 m, cüruf miktarı 220 kg/TSHD ve günlük üretimi 3.630ton olan bir yüksek fırını değerlendirelim. Döküm deliği ile tüyer arasındaki boşluk kok yatağı boşluğunu %20 olduğu varsayılarak tüyer seviyesine kadar dolma süresinin uzunluğu hesaplanabilir. Bu durumda süre 62 dakika olacaktır. Eğer kok yatağı boşluğu %25 ise süre 77 dakika, %30 olduğunda da 93 dakika olacaktır. Sıvı malzemenin seviyesi tüyerlere ulaştığında üflenen hava basıncında sorunlarla karşılaşılır. Bu durumda üfleme hacimi düşürülür [36].

Ancak bu süre zarfında fırının döküm alınmasını erteleyen problem çözülmediyse üfleme borularına cüruf hatta pik sıçratmadan basınç düşmek mümkün olmayacaktır.

Bu sebeplerden dolayı dökümün ertelenmesini önleyecek tedbirler alınmalıdır. Eğer demir özellikle de cüruf, zamanında fırından alınamazsa proses çok çabuk bir şekilde bundan etkilenecektir. Çok olumsuz şartlarda fırının haznesinin donma olasılıkları da mümkündür. Operatörün dökümün ertelenmesini gerektirecek bir durumla karşılaşması halinde duruma göre önlemler alınmalıdır. Eğer döküme başlanmışsa devam edilmelidir. Devamında olumsuzluğun sürmesi halinde oksijen sonra da hava azaltılmalıdır. Bunun sonunda da döküm kapatılarak üretim hızı düşürülerek dökümler arası süre uzatılması sağlanır. Üretim hızını yavaşlatacak önlemler alınmasıyla güvenli bir şekilde operasyon sürdürülmelidir. Örneğin üfleme miktarı ve oksijen miktarı enjeksiyon ile çalışabilecek düzeyde minimuma indirilir [36].

#### **3.4.8. Cürufsuz Döküm**

Sıvı demir, yoğunluk farkı sebebiyle cürufun aşağısında olmasından dolayı döküm başında döküm deliği yükseltisi demirli malzemenin olduğu seviyede olacaktır. Bu dizayn ile demir ilk dökülen malzeme olacaktır. Sıvı seviyesi düştükçe demir ile cüruf karışımı beraber akmaya başlayacaktır. Dökümün sonuna doğru ana sıvı malzeme cüruf olmaya başlar. Ancak bazı durumlarda fırın, sadece demir dökümü alır ya da çok fazla cüruf almadan döküm alınır. Demir, yüksek fırının ana hedefi olsa da cüruf elde edilmeden demir kazanılamaz.

Bazik cüruf daha yüksek bir ergime noktasına sahiptir. Ancak bazik cüruf asidik cürufa oranla desülfürizasyon özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Fakat dökümün iyi olabilmesi için cüruf bazikliği azaltılmalıdır. Bu durumda cürufun hazneden alınması daha kolay olacaktır. Eğer fırın içerisinde gerçekleşen durumlar sonucu cürufun sıcaklığı veya bileşimi değişirse demirden viskoz bir hale gelir ve kok yatağından boşaltma zorlaşır. Demir daha kolay akmaya başlar ve döküm çok az veya hiç cüruf yapmaz. Cüruf hala üretilir. Ancak cüruf, fırın prosesi etkilenmemesi için kesinlikle dışarı alınmalıdır [36].

Bir önceki bölümde bahsedilen problem aşağıdaki parametreler kontrol edilerek engellenebilir;

- Cüruf miktarı takip edilerek veya indirekt yöntemler vasıtasıyla örneğin cüruf granülasyona giden hızı takip edilerek.
- Cüruf gelme süre yüzdesi. Döküm süresinin cüruf gelme süresine yüzdesi takip edilerek gerçekleştirilebilir.
- Cüruf hareket hızı. Cürufun döküm deliğinden çıkış anı ile varış yeri arasındaki süre hesaba katılarak yapılabilir.

Cüruf fırından istenildiği şekilde boşaltma yapmıyorsa cürufun boşaltmasını kolaylaştıracak adımlar atılmalıdır. Çeşitli metodlar vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Örneğin daha geniş çapta matkap kullanmak döküm akışı arttırılabilir. Eğer döküm deliği kısa ise cüruf daha az gelecektir. Döküm deliğinin boyunu artırarak daha uzun süre döküm alınması sağlanabilir. Eğer fırın soğuma trendinde ise ve döküm deliğinde cüruf tıkanmaları yaşıyorsa enjeksiyon artırılarak fırının ısınması sağlanabilir. Ancak bu durumda da yakıt tüketimi artacaktır [36].

### **3.4.9. Hava Gelmeden Kapatılan Döküm**

Torpedo manipstasyonlarında yaşanan aksaklıklar ve dolu olması malzeme akışını engelleyecek bir sorunla karşılaşılması durumlarında döküm erken kapatılmak zorunda kalınabilir. İlave olarak döküm deliğinin kısa olması veya döküm deliği mantar oluşumundaki çatlakdan ötürü döküm akışının bozulması da söylenebilir. Haznede biriken bütün sıvı malzemenin tam olarak alınamayıp sonlandırıldığı durumlar için hava gelmeden döküm kapatılması tabiri kullanılır.

Birkaç seri döküm sonrasında fırın içerisinde arta kalan cüruf miktarı birikmektedir. Bir iki dökümde anlaşılabilen bir sorun değildir. Fırın içerisinde cüruf miktarı, dökümün tam alınmamasından kaynaklı olarak birikme yapacaktır. Bunun sonucunda da üfleme basıncı bu durumdan olumsuz etkilenecektir. Bu durum fırın kapatıldığında üfleme basıncı artışından anlaşılacaktır. Döküm açılana kadar artış gösterebilir.

Bazı durumlarda döküm açıldığında dahi düşmeyebilir. Cüruf gelmesi ile basınçta düşme gözlemlenebilir. Üfleme basıncındaki değişimler her zaman çok belirgin olmamaktadır ve bazı durumlardan dikkatten kaçabilmektedir. Bu gibi durumlarda cüruf akma süresinin yüzdesine bakılması yararlı olacaktır [36].

#### **3.4.10. Haznedeki Sıvının Boşaltılması**

Döküm deliğinde üflemenin gözlemlenmesi genellikle fırın haznesinin boş ya da değil şekilde düşünülmesine sevk etmektedir. İyi bir belirti olmasına karşın kesin bir gözlem olarak değerlendirilmemelidir. Döküm deliğindeki üfleme sadece döküm deliği etrafındaki bölgenin boşaldığını gösteriyor olabilir. Bu da haznenin diğer bölgelerine dair bizi bilgilendirmemektedir. Döküm deliğine boşalma yapan döküm deliğine uzak bölgeler düşük ise döküm deliğine yakın bölgelerde üfleme izin verecek kadar düşük seviyede sıvı malzeme gelebilir. Ancak bu durumda diğer uzak bölgelerde sıvı malzeme olduğu gerçeği hakkında yanıtlanabilmektedir. Böyle bir senaryoda döküm yine de kapatılmalıdır. Ancak döküm, tam boşalmayan döküm olarak düşünülmelidir. Bu durum her zaman kolay bir şekilde tespit edilememektedir.

Boş haznenin belirtileri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Döküm deliğinden üfleme gözlemlenmesi
- Yeterli sıvı demir ve cürufun üretim miktarıyla örtüşen oranda alınması
- Kontrol parametrelerin haznenin boşaldığını işaret etmesi (şarj oranı ve basıncın normal olması)
- Fırının sorunsuz bir şekilde kapatılabilmesi. (Tüyerlere cüruf veya sıvı maden sıçratmadan)

Yukarıda bahsedilen son kriter genellikle fırını kısa döküm süresinde kapatmak zorunda kalındığı durum için en önemli nedenlerden biridir [36].

### **3.4.11. Oksijen ile Döküm Açılması**

Oksijen lanslarının kullanımının artması kesinlikle kök sebebe inilene kadar sorgulanmalıdır. Oksijen lansının kullanılması kaçınılmaz olduğu durumlarda oksijeni vuracak kişi deneyimli olmalıdır. Oksijen döküm deliğinin sonuna doğru vurulmalıdır ki döküm deliğine zarar vermesin. Oksijen lanslarının kullanılması döküm açılışını uzatmaktadır. Bu nedenle alternatif yöntemler düşünülebilir. İkinci döküm deliği açılabilir veya basınç düşmesi yapılabilir.

Döküm deliğini açmak için defalarca oksijen lansı kullanılması döküm deliği alanında geri dönülemez hasarlara sebep olabilir. Döküm deliği bloklarına ve hatta soğutucularına hasar verebilir [36].

### **3.4.12. Döküm Bilgilerinin Kayıt Altına Alınması**

Döküm deliği koşullarının ve performansının iyi bir şekilde analiz edilebilmesi kapsamlı bir bilgi toplanması sayesinde başarılabilir. Bazı kayıt alınan bilgiler şu şekildedir;

- Döküm sayısı,
- Delme,
- Akış durumu,
- Döküm deliği uzunluğu,
- Delik çapı,
- Döküm ve cüruf alma süresi,
- Döküm deliğini kapatmak için kullanılan çamur miktarı,
- Çamur topu enjeksiyonu (basma kabiliyeti),
- Döküm deliğinden üflemenin gözlenmesi,
- Spesifik tüketim,
- Fırın proses parametreleri (maden sıcaklığı, cüruf bazitesi, cüruf hacmi vs.)

Yukarıda bahsedilen kontrol parametreleri kolay bir şekilde bilgiye aktararak yorumlanabilir. Bilgi kaynağı oluşturularak grafikler elde edilebilir [36].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar yapılırken kaliteleri farklı olan döküm deliği çamurlarının kullanımını ile kalitesinin; döküm delme performansı, ilk açılma anı, akış durumu, delik çapı genişlemesi, delik boyu uzunluğu, çamur basma kabiliyeti ve spesifik tüketim üzerine etkisi incelenmiş ve dökümhane uygulamaları takip edilerek performans kıyaslaması yapılmıştır.

#### 4.1. DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURLARININ BELİRLENMESİ

5.Yüksek Fırın döküm deliğinde reçine bağlayıcılı (katransız) silisyum karbür (SiC) ile güçlendirilmiş yüksek alümina ( $Al_2O_3$ ) ihtiva eden top çamuru kullanılmaktadır.

##### 4.1.1. Kimyasal Özellikler

- $Al_2O_3$  (850 °C Yanmış Malzemede): %40,00 min. ISO 12677-2003
- SiC (850 °C Yanmış Malzemede): %12,00 min. ASTM E1019-08
- Serbest C (800 °C Koklaşmış-850 °C Yanmış): %5 min. ASTM E1019-08
- $Fe_2O_3$  (850 °C Yanmış Malzemede): %1,30 max. ISO 12677-2003
- Kızdırma kaybı (1000 °C Yanmış Malzemede): %35,00 max. ASTM D7348-08

##### 4.1.2. Fiziksel Özellikler

- Tane Büyüklüğü: 0-4 mm ASTM C92-95(2010)
- Çalışma Sıcaklığı: 1650 °C
- Hacim Ağırlığı: 1,8-2,3 gr/cm<sup>3</sup>
- Soğukta Kırılma Mukavemeti (800 °C Koklaşmış Malzemede): 50 kg/cm<sup>2</sup>

- Uçucu Madde (800 °C Koklaşmış): %14 max.
- Raf Ömrü :6-12 ay

#### **4.2. 5 NOLU YÜKSEK FIRIN DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU UYGULAMALARI**

Deneysel çalışmaların tamamı ve çalışmalara bağlı veriler - performans karşılaştırmaları Kardemir A.Ş yüksek fırınlarının en büyüğü olan 1650 m<sup>3</sup> hacimli 5 no'lu Yüksek Fırın'da yapılmıştır. 5 nolu yüksek fırın da üretim kapasitesine bağlı olarak 2 adet dökümhane bulunmaktadır. Bunlar Batı Dökümhanesi (1 No'lu delik), Güney Dökümhanesi (2 No'lu delik) dir. 5 no'lu Yüksek Fırın döküm deliği 50 cm flanş 150 cm karbon refrakter ile birlikte toplam 200 cm uzunluğundadır. 50 cm minimum mantar (mushroom) oluşumu öngörüsüyle 5 no'lu Yüksek Fırın'da delik boyu hedefi minimum 250 cm'dir.

5 no'lu Yüksek Fırın'da döküm genel olarak 40 mm'lik bar ile açılır. Acil durumlarda ya da işletme gereği 50 – 64 mm'lik bar+xbit kullanılmaktadır. Her iki döküm deliği refrakterinde de 6'şar adet TCP bulunmakta ve online olarak döküm deliği çevresi sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Deneysel çalışmaların yapıldığı deney numunelerine başlandıktan sonra döküm deliği çamuru kaynaklı bir problem olmaması durumunda deneme tonajı bitene kadar kullanıma devam edilmektedir. Delik boyunun 2 metre ve daha kısa çıkması durumunda deneme o dökümden itibaren durdurulmaktadır. Gerçek performansı görebilmek adına minimum 3 döküm üst üste deneme yapılan döküm deliği çamuru ile döküm alınabilmelidir. Döküm esnasında delikte aşırı genişleme nedeniyle kontrolsüz akış sonucu döküm kapanmak zorunda kalırsa ve döküm açıldıktan sonra sıçramalı akış 2 dakikadan daha fazla sürerse ve / veya cüruf geldikten sonra tekrar sıçrama başlarsa deneme durdurulmaktadır. Döküm kapandıktan sonra eğer döküm kendiliğinden açılırsa denemeye devam edilmemektedir. Çamur topu içinde döküm deliği çamurunun sertleşerek yapışması ve bu sertleşmeye bağlı temizlik yapmak gerekir ve / veya çamur deliğe basılamazsa deneme durdurulmaktadır.

Firmadan temin edilen 3 farklı ürünün (A-B-C kalite) teknik özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. A-B ve C Kalite DDC Teknik Özellikleri.

| Kategori   | A  | B   | C   |
|--|--|---|---|
|  | Ortalama Değerler                                  |   |   |
| <b>Temel malzemeler</b>                              | Bauxite - Silicon Carbide (Boksit-Silisyum Karbür) | Brown fused alumina- Silicon Carbide (Kahverengi Alüminyum Oksit - Silisyum Karbür) | Corundum - Silicon Carbide (Korindon - Silisyum Karbür) |
| <b>Tane boyutu (mm)</b>                              | 3  | 3   | 3   |
| <b>Ham yığın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)</b>        | 2230   | 2430  | 2370  |
|  | Ortalama Değerler                                  |   |   |
| <b>Kimyasal Özellikler</b>                           |  |   |   |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>               | 45   | 49  | 52  |
| <b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>                           | 34   | 26  | 23  |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>               | 2,5  | 4,5   | 4,2   |
| <b>TiO<sub>2</sub> (%)</b>                           | 2  | 1,2   | 1,2   |
| <b>SiC (%)</b>                                       | 15   | 17  | 16  |
| <b>Kızdırma Kaybı 750°C (%)</b>                      | 32   | 22  | 27  |
|  | Ortalama Değerler                                  |   |   |
| <b>Fiziksel Özellikler</b>                           |  |   |   |
| <b>Uçucu madde 800 °C (%)</b>                        | 10   | 11  | 9,8   |
| <b>Yığın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)</b>            | 1900   | 2100  | 2050  |
| <b>Açık gözeneklilik (%)</b>                         | 29   | 30  | 28  |
| <b>Soğuk kırılma mukavemeti (Mpa)</b>                | 5,5  | 5   | 6   |
| <b>Plastik olma durumu 40 °C (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | 220-260  | 180-220   | 180-220   |

Deneme süresince deney sonuçları kayıt altına alınmış ve arşivlenmiştir. Tüm bu bilgiler ve çalışmalar sonucu aşağıdaki Çizelge 4.2. Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4. 'te denemesi yapılan döküm deliği çamurlarının gün bazlı performans sonuçları verilmiştir. Elde edilen verilerin performans kıyaslaması detaylı bir şekilde sonuçlar kısmında bahsedilmiştir.

Çizelge 4.2. 5. Yüksek Fırın – A Kalite Döküm Deliği Çamuru.

| <b>DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU RAPORU / TAPHOLE CLAY SHEET</b>              |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
|---|--|--|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>5.YÜKSEK FIRIN/BLAST FURNACE 5- A KALİTE DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU</b> |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>VERİLER / DATAS</b>  |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>Döküm No./ Cast No.</b>  | <b>Toplam Çamur Ağırlığı/ Total Clay Weight (kg)</b> | <b>Toplam Döküm Süresi/ Total Casting Time (min)</b> | <b>Tonaj/ Tonnage</b> | <b>Tüketim/ Consumption</b> | <b>t/dk Casting Velocity</b> | <b>Delik Boyu/ Length (cm)</b> | <b>Cüruf Bazitesi/ Slag Basicity</b> | <b>Cüruf Hacmi/ Slag Volume</b> |
| 11504   | 169  | 165  | 603                   | 280                         | 3,65                         | 270                            | 0,796                                | 274                             |
| 11509   | 169  | 140  | 429                   | 394                         | 3,06                         | 270                            | 0,731                                | 274                             |
| 11510   | 169  | 140  | 589                   | 287                         | 4,21                         | 270                            | 0,752                                | 274                             |
| 11512   | 169  | 115  | 433                   | 390                         | 3,77                         | 250                            | 0,835                                | 274                             |
| 11513   | 169  | 115  | 423                   | 400                         | 3,68                         | 260                            | 0,750                                | 274                             |
| 11518   | 169  | 95   | 410                   | 412                         | 4,32                         | 300                            | 0,758                                | 274                             |
| 11519   | 169  | 115  | 416                   | 406                         | 3,62                         | 270                            | 0,755                                | 274                             |
| 11520   | 169  | 105  | 407                   | 415                         | 3,88                         | 300                            | 0,72                                 | 271                             |
| 11525   | 169  | 115  | 429                   | 394                         | 3,73                         | 250                            | 0,764                                | 271                             |
| 11529   | 169  | 130  | 434                   | 389                         | 3,34                         | 300                            | 0,755                                | 269                             |
| 11530   | 169  | 140  | 528                   | 320                         | 3,77                         | 290                            | 0,725                                | 269                             |
| 11531   | 169  | 110  | 434                   | 389                         | 3,95                         | 270                            | 0,711                                | 269                             |
| 11532   | 169  | 170  | 590                   | 286                         | 3,47                         | 260                            | 0,762                                | 269                             |
| 11535   | 169  | 160  | 580                   | 291                         | 3,63                         | 240                            | 0,773                                | 269                             |
| 11537   | 169  | 115  | 441                   | 383                         | 3,83                         | 280                            | 0,78                                 | 274                             |
| 11538   | 169  | 110  | 425                   | 398                         | 3,86                         | 240                            | 0,762                                | 274                             |
| 11543   | 169  | 165  | 569                   | 297                         | 3,45                         | 290                            | 0,746                                | 274                             |
| 11544   | 169  | 160  | 533                   | 317                         | 3,33                         | 270                            | 0,713                                | 274                             |
| 11545   | 169  | 130  | 442                   | 382                         | 3,40                         | 270                            | 0,762                                | 268                             |
| 11551   | 169  | 125  | 587                   | 288                         | 4,70                         | 300                            | 0,744                                | 268                             |
| <b>ORT.</b>   | <b>169</b>   | <b>131</b>   | <b>485</b>            | <b>348</b>                  | <b>3,73</b>                  | <b>273</b>                     | <b>0,755</b>                         | <b>272</b>                      |

Çizelge 4.3. 5. Yüksek Fırın – B Kalite Döküm Deliği Çamuru.

| <b>DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU RAPORU / TAPHOLE CLAY SHEET</b>              |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
|---|--|--|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>5.YÜKSEK FIRIN/BLAST FURNACE 5- B KALİTE DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU</b> |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>VERİLER / DATAS</b>  |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>Döküm No./ Cast No.</b>  | <b>Toplam Çamur Ağırlığı/ Total Clay Weight (kg)</b> | <b>Toplam Döküm Süresi/ Total Casting Time (min)</b> | <b>Tonaj/ Tonnage</b> | <b>Tüketim/ Consumption</b> | <b>t/dk Casting Velocity</b> | <b>Delik Boyu/ Length (cm)</b> | <b>Cüruf Bazitesi/ Slag Basicity</b> | <b>Cüruf Hacmi/ Slag Volume</b> |
| 11611   | 225  | 125  | 378                   | 595                         | 3,02                         | 260                            | 0,828                                | 243                             |
| 11613   | 225  | 130  | 481                   | 468                         | 3,70                         | 280                            | 0,785                                | 248                             |
| 11614   | 225  | 175  | 523                   | 430                         | 2,99                         | 280                            | 0,788                                | 248                             |
| 11617   | 225  | 165  | 492                   | 457                         | 2,98                         | 240                            | 0,792                                | 264                             |
| 11618   | 225  | 90   | 268                   | 840                         | 2,98                         | 250                            | 0,813                                | 264                             |
| 11621   | 225  | 120  | 502                   | 448                         | 4,18                         | 240                            | 0,757                                | 271                             |
| 11623   | 225  | 150  | 377                   | 597                         | 2,51                         | 250                            | 0,782                                | 275                             |
| 11624   | 225  | 160  | 470                   | 479                         | 2,94                         | 250                            | 0,852                                | 275                             |
| 11626   | 225  | 120  | 522                   | 431                         | 4,35                         | 240                            | 0,854                                | 274                             |
| 11627   | 225  | 110  | 498                   | 452                         | 4,53                         | 240                            | 0,845                                | 274                             |
| 11628   | 225  | 115  | 463                   | 486                         | 4,03                         | 260                            | 0,884                                | 275                             |
| 11630   | 225  | 180  | 532                   | 423                         | 2,96                         | 250                            | 0,938                                | 275                             |
| 11631   | 275  | 155  | 542                   | 507                         | 3,50                         | 180                            | 0,891                                | 275                             |
| 11632   | 250  | 240  | 799                   | 313                         | 3,33                         | 240                            | 0,887                                | 275                             |
| 11633   | 225  | 155  | 525                   | 429                         | 3,39                         | 250                            | 0,878                                | 273                             |
| 11634   | 225  | 85   | 156                   | 1442                        | 1,84                         | 250                            | 0,853                                | 273                             |
| 11636   | 225  | 170  | 441                   | 510                         | 2,59                         | 230                            | 0,837                                | 273                             |
| 11638   | 225  | 125  | 365                   | 616                         | 2,92                         | 250                            | 0,824                                | 273                             |
| 11639   | 225  | 160  | 432                   | 521                         | 2,70                         | 230                            | 0,875                                | 273                             |
| 11641   | 225  | 85   | 295                   | 763                         | 3,47                         | 220                            | 0,835                                | 273                             |
| <b>ORT.</b>   | <b>229</b>   | <b>141</b>   | <b>453</b>            | <b>505</b>                  | <b>3,24</b>                  | <b>245</b>                     | <b>0,840</b>                         | <b>269</b>                      |

18 - 24 Haziran 2019 tarihleri arasında 5. Yüksek Fırın döküm deliğinde deneme gerçekleştirilmiştir. Toplamda 10,5ton çamur aralıksız kullanılmıştır. Denemenin başladığı gün; çamur karakteri tam olarak deliğe yansımayaacağından değerlendirme dışında tutulmuştur.

Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de A ve B kalite döküm deliği çamuru denemeleri esnasında bilinen tüm muhtemel parametreler incelenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Buna göre;

DELME: Döküm delme performansı iyidir. Delme performansının iyi olması hem delme ekipmanı olan matkabın zorlanmaması ve sarf malzemelerinin artmaması hem

de ve daha da önemlisi delme esnasında delikte oluşabilecek çatlakların oluşmayarak akış kalitesine pozitif anlamda çok büyük katkısı olmuştur.

**İLK AÇILMA ANI:** İlk delinme esnasında oluşabilecek toz emisyonu ve metal sıçraması çevreye ve daha da önemlisi sıçrama olmasından dolayı ana kanalda kullanılan CASTABLE refrakter ömrüne direkt olumsuz olarak yansıtılabilmektedir. B kalite döküm deliği çamuru birkaç istisna döküm dışında 2-3 dakika içerisinde akış normale dönmüştür.

**AKIŞ:** Deneme boyunca akışla ilgili problem yaşanmamıştır. İlk delme anından, hava gelerek kapanmasına kadar geçen süre içinde akış gayet düzgündür.

**KAPATMA (ÇAMUR TOPU ile ENJEKSİYON):** Deneme boyunca basma ya da sonrasında hiçbir sorun ile karşılaşılmamıştır.

**DELİK BOYU:** 5. Yüksek Fırın'da döküm deliği karbon bloğu 2000 mm'dir. Ancak döküm delik boyu tanımlanırken sadece karbon blok boyu değil döküm deliği çamurunun fırın iç kısmında oluşturması gereken mantar ile birlikte tanımlanır ki 5. Yüksek Fırın'da hedef delik boyu minimum 2500 mm'dir. Delik boyu, direkt olarak fırın performansını ve uzun vade de döküm deliği karbon bloğunu etkilediğinden fırın işletmesi için çok önemli ve sürekli üzerinde durulan ve takip edilen bir parametredir. B kalite döküm deliği çamurunda ise döküm deliği boyları min. hedef delik boyunun altında kalmıştır. Deneme ortalaması 2445 mm olarak gerçekleşmiştir.

**DELİK ÇAPI:** 5. Yüksek Fırın'da döküm deliği 40 veya 50 mm'lik uçlar ile açılmaktadır. Döküm deliği çamurunun kalitesine bağlı olarak döküm açıldıktan sonra ve özellikle curufun akmaya başlaması ile delikte genişlemeler oluşur.

Ancak genişleme kabul edilebilir sınırlar içinde kalmalıdır. B kalite döküm deliği çamurunda ara sıra delikte genişlemeler gözlemlenmiştir. Genişleme kabul edilebilir sınırlar içindedir.

SPESİFİK TÜKETİM: Döküm deliği çamuru sarfiyatı günlük-aylık-yıllık bazda ton sıvı ham demir başına kaç gram kullanıldığı şeklinde takip edilmektedir (gr/TSHD).

5. Yüksek Fırın'da daha önce çeşitli firmaların döküm deliği çamurları kullanılmış olup farklı performanslar elde edilmiştir. Genel ortalama olarak 475 gr/TSHD spesifik tüketim var iken B kalite döküm deliği çamuru kullanımı esnasında 505 gr/TSHD olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.4. 5. Yüksek Fırın– C Kalite Döküm Deliği Çamuru.

| <b>DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU RAPORU / TAPHOLE CLAY SHEET</b>               |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
|--|--|--|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>5.YÜKSEK FIRIN/BLAST FURNACE 5 - C KALİTE DÖKÜM DELİĞİ ÇAMURU</b> |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>VERİLER / DATAS</b>   |  |  |                       |                             |                              |                                |                                      |                                 |
| <b>Döküm No./ Cast No.</b>   | <b>Toplam Çamur Ağırlığı/ Total Clay Weight (kg)</b> | <b>Toplam Döküm Süresi/ Total Casting Time (min)</b> | <b>Tonaj/ Tonnage</b> | <b>Tüketim/ Consumption</b> | <b>t/dk Casting Velocity</b> | <b>Delik Boyu/ Length (cm)</b> | <b>Cüruf Bazitesi/ Slag Basicity</b> | <b>Cüruf Hacmi/ Slag Volume</b> |
| 11180  | 195  | 155  | 433                   | 450                         | 2,79                         | 230                            | 0,732                                | 289                             |
| 11181  | 195  | 165  | 249                   | 783                         | 1,51                         | 260                            | 0,735                                | 293                             |
| 11182  | 195  | 115  | 367                   | 531                         | 3,19                         | 250                            | 0,719                                | 293                             |
| 11183  | 195  | 100  | 373                   | 523                         | 3,73                         | 230                            | 0,718                                | 293                             |
| 11185  | 195  | 100  | 369                   | 528                         | 3,69                         | 220                            | 0,745                                | 293                             |
| 11187  | 195  | 175  | 563                   | 346                         | 3,22                         | 260                            | 0,736                                | 293                             |
| 11189  | 175  | 130  | 404                   | 433                         | 3,11                         | 270                            | 0,713                                | 296                             |
| 11190  | 175  | 120  | 412                   | 425                         | 3,43                         | 250                            | 0,711                                | 296                             |
| 11191  | 175  | 175  | 550                   | 318                         | 3,14                         | 240                            | 0,715                                | 296                             |
| 11192  | 175  | 190  | 570                   | 307                         | 3,00                         | 230                            | 0,739                                | 296                             |
| 11193  | 175  | 150  | 780                   | 224                         | 5,20                         | 250                            | 0,722                                | 296                             |
| 11194  | 175  | 150  | 478                   | 366                         | 3,19                         | 200                            | 0,730                                | 292                             |
| 11195  | 175  | 170  | 617                   | 284                         | 3,63                         | 260                            | 0,702                                | 292                             |
| 11197  | 175  | 90   | 415                   | 422                         | 4,61                         | 230                            | 0,744                                | 290                             |
| 11199  | 175  | 170  | 702                   | 249                         | 4,13                         | 270                            | 0,744                                | 289                             |
| 11200  | 175  | 155  | 550                   | 318                         | 3,55                         | 260                            | 0,709                                | 289                             |
| 11201  | 175  | 130  | 470                   | 372                         | 3,62                         | 250                            | 0,685                                | 291                             |
| 11202  | 175  | 130  | 371                   | 472                         | 2,85                         | 260                            | 0,650                                | 291                             |
| 11208  | 175  | 175  | 570                   | 307                         | 3,26                         | 280                            | 0,732                                | 291                             |
| 11209  | 175  | 115  | 377                   | 464                         | 3,28                         | 270                            | 0,731                                | 291                             |
| <b>ORT.</b>  | <b>181</b>   | <b>143</b>   | <b>481</b>            | <b>376</b>                  | <b>3,41</b>                  | <b>249</b>                     | <b>0,721</b>                         | <b>292</b>                      |

17 - 28 Nisan 2019 tarihleri arasında 5. Yüksek Fırın GÜNEY-BATI dökümhanelerinde döküm deliğinde deneme gerçekleştirilmiştir. Toplamda 12ton çamur aralıksız kullanılmıştır. Denemenin başladığı gün; çamur karakteri tam olarak deliğe yansımayaacağından değerlendirme dışında tutulmuştur.

Çizelge 4.4.'de C kalite döküm deliği çamuru denemeleri esnasında bilinen tüm muhtemel parametreler incelenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Buna göre;

**DELME:** Döküm delme performansı iyidir. Delme performansının iyi olması hem delme ekipmanı olan matkabın zorlanmaması ve sarf malzemelerinin artmaması hem de ve daha da önemlisi delme esnasında delikte oluşabilecek çatlakların oluşmayarak akış kalitesine pozitif anlamda çok büyük katkısı olmuştur. Ancak A kalite çamuru ile karşılaştığımızda delme performansı daha düşüktür. Zaman zaman delme esnasında matkap saplanmıştır. Delme sırasında kullanılan malzeme sarfiyatını arttırmıştır.

**İLK AÇILMA ANI:** İlk delinme esnasında oluşabilecek toz emisyonu ve metal sıçraması çevreye ve daha da önemlisi sıçrama olmasından dolayı ana kanalda kullanılan dökülebilir refrakter ömrüne direkt olumsuz olarak yansıyabilmektedir. C kalite çamur denemesinde birkaç istisna döküm dışında 2-3 dakika içerisinde akış normale dönmüştür.

**AKIŞ:** Deneme boyunca akışla ilgili problem yaşanmamıştır. İlk delme anından, hava gelerek kapanmasına kadar geçen süre içinde akış gayet düzgündür.

**KAPATMA (ÇAMUR TOPU ile ENJEKSİYON):** Deneme boyunca basma ya da sonrasında hiçbir sorun yaşanmamasına rağmen bir döküm kendiliğinden açılmış işletme güvenliğini tehlikeye atmıştır.

**DELİK BOYU:** 5. Yüksek Fırın'da döküm deliği karbon bloğu 2000 mm'dir. Ancak döküm delik boyu tanımlanırken sadece karbon blok boyu değil döküm deliği çamurunun fırın iç kısmında oluşturması gereken mantar ile birlikte tanımlanır ki 5. Yüksek Fırın'da hedef delik boyu minimum 2500 mm'dir.

Delik boyu, direkt olarak fırın performansını ve uzun vade de döküm deliği karbon bloğunu etkilediğinden fırın işletmesi için çok önemli ve sürekli üzerinde durulan ve takip edilen bir parametredir. C'de ise döküm deliği boyları genel anlamda iyidir ve deneme ortalaması 2490 mm olarak gerçekleşmiştir.

DELİK ÇAPI: 5. Yüksek Fırın'da döküm deliği 40 veya 50 mm'lik uçlar ile açılmaktadır. Döküm deliği çamurunun kalitesine bağlı olarak döküm açıldıktan sonra ve özellikle curufun akmaya başlaması ile delikte genişlemeler oluşur. Ancak genişleme kabul edilebilir sınırlar içinde kalmalıdır. C kalite döküm deliği çamurunda delik genişlemeleri yaşandığından kötü performans sergilemiştir.

SPESİFİK TÜKETİM: Döküm deliği çamuru sarfiyatı günlük-aylık-yıllık bazda ton sıvı ham demir başına kaç gram kullanıldığı şeklinde takip edilmektedir (gr/TSHD). 5. Yüksek Fırın'da daha önce çeşitli firmaların döküm deliği çamurları kullanılmış olup farklı performanslar elde edilmiştir. Genel ortalama olarak 475 gr/TSHD spesifik tüketim var iken C kullanımı esnasında 376 gr/TSHD'e olarak gerçekleşmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki spesifik tüketim tek başına kesinlikle bir parametre değildir. Yukarıda bahsedilen tüm parametreler göz önüne alınarak değerlendirme yapılmalıdır.

## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Demir üretim sürecinde sarf edilen refrakterler, yüksek fırın üretiminin taleplerini karşılamak için son 20 yılda önemli ölçüde geliştirilmiştir. Dünyanın dört bir yanında inşa edilmekte olan yeni yüksek fırınlar, iyileştirilmiş döküm açma ve kapatma ekipmanları ile modern dökümhanelere sahiptir. Ayrıca bu durum, kullanılabilecek döküm deliği çamuru çeşitliliğini artırır ve spesifik tüketimini azaltır.

Yüksek fırının çalışma şekline bağlı olarak daha uzun döküm ve cüruf süreleri gerekir. Bu duruma istinaden daha kaliteli daha pahalı hammaddeler içeren döküm deliği çamurları gerektirecektir. Çevre dostu döküm deliği çamurlarının geliştirilmesine yönelik dünya çapındaki eğilim, özellikle batı dünyasında artmaktadır. Reçine bağlı sistemlere geçmeden daha hızlı sertleşen, çevre dostu çamurların daha da geliştirilmesi, yüksek fırınların çalışma değişikliklerine uymaya devam edecektir. Hazne sistemleri artık kapsamlı enstrümantasyon, iyileştirilmiş soğutma ve iyileştirilmiş refrakter kalitesi ile uygulanmaktadır. Böylece 20 yıl ve üzeri uzun kampanyaların gerçeğe dönüşeceği öngörülmektedir.

Yüksek fırın çalışma dönemi süresince, döküm deliği bölgesinde sıvı metal ve cüruf, hem erozyon hemde korozyona sebep olarak zarar verir. Sıcak metal infiltrasyonu, su kaçaqları, termomekanik gerilimler bu bölgeyi etkiler. Hiçbir müdahale yapılmazsa ciddi delinmeler meydana gelebilir.

Döküm deliği bakımı gerektiren göstergeler aşağıda maddelenmiştir.

- Dengesiz döküm akışı
- Döküm deliği boylarının kısalması
- Akış sırasında sıçramaların yaşanması

- Döküm deliği bozuklukları
- Gaz, sıvı metal veya cüruf sızıntıları
- Döküm deliği çevresi sıcaklığının yükselmesi

Döküm deliği bölgesinin bakımı için özel ürünler ve yöntemler mevcuttur. Kapalı sistem enjeksiyonu yoluyla çatlakların ortadan kaldırılması için basınçlı hava yöntemi ve hava basınçsız yöntem uygulanmakta olup mantar oluşumunun yeniden inşası için delik boyunun restorasyonu kapsamında özel malzeme enjekte edilmesiyle zararlı durumların önüne geçilmektedir. Bu bölgenin bakımı, dökümü yapılan sıvı ham demir için önemli bir faktördür.

Elde edilen bu bulgularla fırın proses şartları göz önüne alınarak deneysel çalışmaları yapılan farklı fiziksel ve kimyasal analizlere sahip döküm deliği çamurlarının (A-B-C Kalite) mukayesesi yapılmış ve tüm bu bulgularla sonuçlar kısmında performans durumundan bahsedilmiştir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlarda Müdürlüğü bünyesinde 5. Yüksek fırın döküm deliğinde 3 farklı kaliteye sahip döküm deliği çamurunun denemeleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler kapsamında yapılan kıyaslama sonucu en iyi performansı A kalite döküm deliği çamuru sergilemiştir.

A ve B kalite döküm deliği çamurları arasında yapılan kıyaslama sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

04-10 Haziran 2019 tarihleri arasında A kalite döküm deliği çamuru, 18-24 Haziran 2019 tarihleri arasında B kalite döküm deliği çamuru 5. Yüksek Fırın Güney Dökümhanesi deliğinde kullanılmış olup iki dönem birbiri ile karşılaştırıldığında;

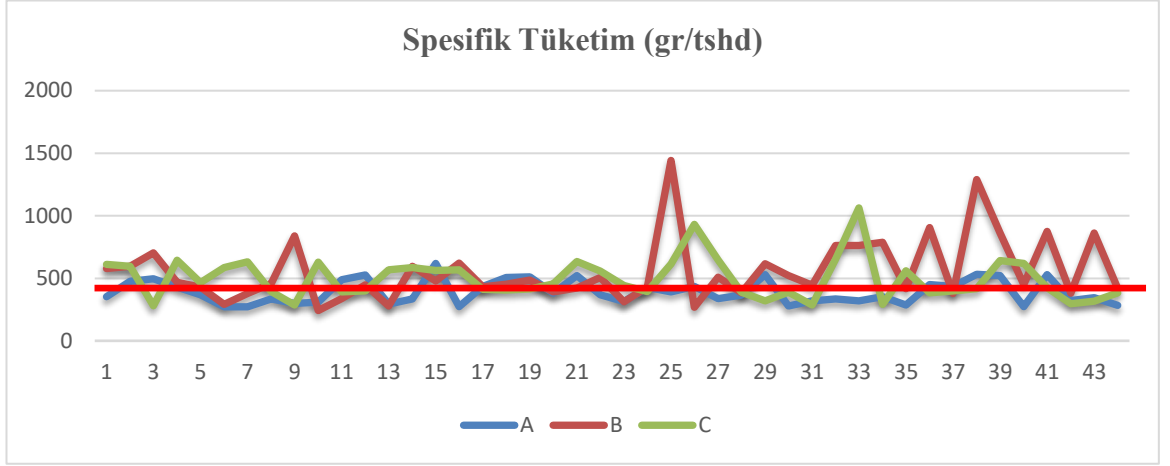
- Delik boyu yakalamada her iki çamurda birbirine yakın performans sergilemiştir. Fakat B kalite çamur kullanıldığı dönemde ortalama 245 cm ile hedefin altında kalmıştır.
- Delme performansı açısından A daha iyidir.
- Delik genişleme açısından her iki çamurda aynı karakteri göstermiştir.
- Döküm süresi olarak A ortalama 131 dakika, B ortalama 141 dakika olarak gerçekleşmiştir. B’de kullanılan dönemde döküm süresi ortalama 10 dakika uzamıştır.
- Döküm kapatma karakteri her iki çamurda da birbirine yakındır ve gayet iyidir.
- Akış performansı her iki çamurda da birbirine yakındır ve gayet iyidir.
- Spesifik tüketim olarak baktığımızda A kalite çamur için 348 gr/ton, B kalite çamur için yaklaşık 505 gr/ton olarak gerçekleşmiştir. B kalite çamur kullanıldığı dönemde 1 ton sıvı maden için 157 gr daha fazla çamur tüketilmiştir. Genel ortalamasında üzerinde sarfiyat gerçekleşmiştir.

A ve C kalite döküm deliği çamurları arasında yapılan kıyaslama sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

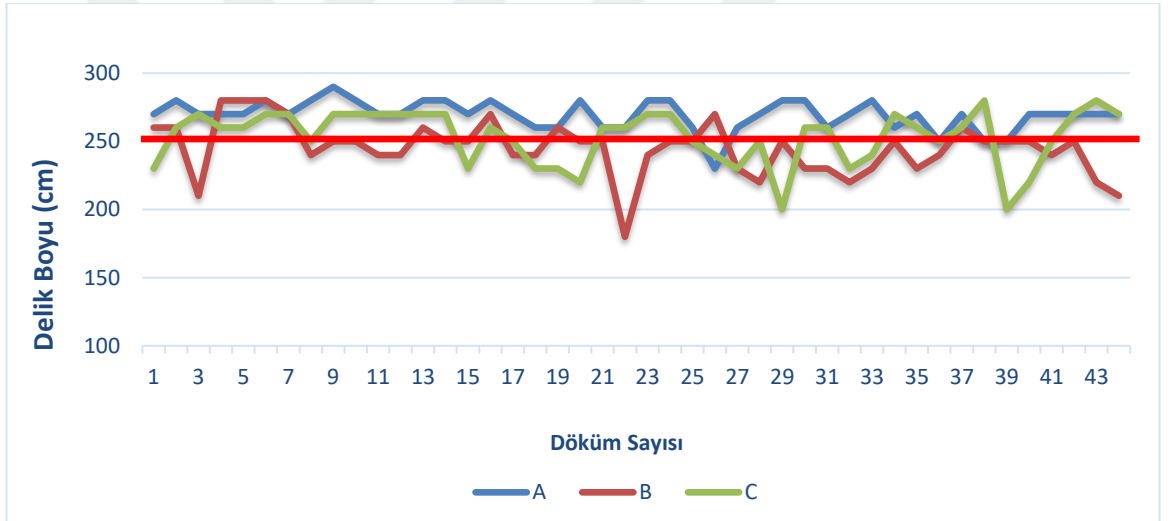
C kalite döküm deliği çamuru 17-27 Nisan 2019 tarihleri arasında 5. Yüksek Fırın Güney-Batı Dökümhanesi deliklerinde kullanılmıştır. Nisan ayı iki dilime bölünmüştür. İlk 16 gün A kalite çamur kullanılmıştır. Ayın geri kalanında ise yaklaşık 10 gün C kalite çamur kullanılmıştır. İki dönem birbiri ile karşılaştırıldığında;

- Delik boyu yakalamada her iki çamurda birbirine yakın performans sergilemiştir. Fakat C kalite çamur kullanıldığı dönemde ortalama 249 cm ile hedefin altında kalınmıştır.
- Delme performansı açısından A kalite döküm deliği çamuru daha iyidir. C kalite çamurunda ara ara delme esnasında saplanmalar meydana gelmiş, malzeme sarfiyatını arttırmıştır.
- C kalite çamur kullanımında kabul edilebilir sınırlar içerisinde birkaç dökümde genişleme tespit edilmiştir. A kalite çamur da ise genişleme açısından sorun görülmemiştir.
- Döküm süresi olarak A ortalama 131 dakika, C ortalama 143 dakika olarak gerçekleşmiştir. C kalite çamur kullanılan dönemde döküm süresi ortalama 12 dakika uzamıştır.
- Döküm kapatma karakteri A kalite döküm deliği çamurunda daha iyidir. C kalite döküm deliği çamuru kullanıldığı dönemde bir döküm kendiliğinden açılmış işletme güvenliğini tehlikeye atmıştır.
- Akış performansı C kalite çamurda delik genişlemeleri yaşandığından kötü performans sergilemiştir.
- Spesifik tüketim olarak baktığımızda A kalite çamur için 348 gr/ton, C kalite çamur için 376 gr/ton olarak gerçekleşmiştir. C kalite çamur kullanıldığı dönemde 1 ton sıvı maden için 28 gr daha fazla çamur tüketilmiştir. Fakat genel ortalama olarak performansı kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Çizelge 6.1. A-B-C Kalite DDÇ Spesifik Tüketimi (gr/tshd).



Çizelge 6.2. A-B-C Kalite DDÇ Delik Boyu Performansı.



Çizelge 6.3. A-B ve C Kalite DDÇ Performans Ortalamaları.

| Döküm Deliği Çamur Kalitesi | Toplam Çamur Ağırlığı (kg) | Toplam Döküm Süresi (dk.) | Tonaj (ton) | Spesifik Tüketim (gr/tshd) | Akış Miktarı (ton /dk) | Delik Boyu (cm) | Cüruf Bazitesi (CaO/SiO <sub>2</sub> ) | Cüruf Hacmi (kg/ton) |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------------------|------------------------|-----------------|--|----------------------|
| A                           | 169                        | 131                       | 485         | 348,38                     | 3,73                   | 273             | 0,755                                  | 272                  |
| B                           | 229                        | 141                       | 453         | 504,91                     | 3,24                   | 245             | 0,840                                  | 269                  |
| C                           | 181                        | 143                       | 481         | 376,30                     | 3,39                   | 249             | 0,721                                  | 292                  |

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, A kalite döküm deliği çamurunun B ve C kalitesine göre tüm performanslarda ve yapılan analizlerde daha iyi sonuçların alındığı görülmüştür. A kalite çamurun, B-C kalite çamurlara kıyasla spesifik tüketimi ve delik

boyu uzunluğu performansı beklenenin üzerinde gerçekleşmiştir. Alternatif tedarikçi üretmek adına döküm deliği çamurları kapsamında deneme çalışmaları hali hazırda devam etmektedir. Deneme yapılacak firma ürünlerinin performansını ispatlaması gerekmektedir. Denemesi yapılmayan ürünlere, işletme güvenliği sebebiyle teknik olarak uygunluk verilmemektedir. A kalite döküm deliği çamurunun mevcut durumda 4. ve 5. Yüksek fırında kullanımı devam etmektedir. Yüksek fırınlarda kullanılan döküm deliği çamurları yurtdışından tedarik edilmektedir. Yurt içi refrakter firmaları ile birçok deneme yapılmasına rağmen beklenen performansı gösterememişlerdir.

Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı olan ve kolayca deformasyona maruz kalmayan refrakterlerde bazı özellikler aranmaktadır. İyi bir refrakterde olması beklenen özellikler; Fırın iç sıcaklığında yapı değişikliği olmaması, aşınmaya karşı dayanıklı, genleşme katsayısı düşük, çeşitli gazlara karşı mukavemet göstermesi, ısı iletiminin iyi olması, maliyet açısından uygun ve kaliteli olması diyebiliriz. Uygun refrakter malzeme seçiminde fırın içinde ortaya çıkabilecek kimyasal tepkimeleri dikkate almak gereklidir. Bu nedenle kullanılacak refrakter malzemelerin içeriğinin ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ülkemiz esas alındığında demir elik üretimi yapan 3 entegre tesis bulunmakta olup, yaklaşık 11,5 milyon ton/yıl demir elik üretimi ve refrakter kullanım alanlarının çeşitliliği dikkate alındığında konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır

## KAYNAKLAR

1. GÖKSU, Ö., “Sıvı Demir Eldesinde Yüksek Fırınlarda Kullanılan Refrakter Malzemelerden Döküm Deliği Çamurunun Fiziksel ve Kimyasal Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, (2006).
2. ALTUN, A., “Farklı oranlarda grafit içeren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C refrakterlerinde bağlayıcı miktarının mekaniksel davranışlara ve içyapıya etkileri, Effect of binder amount to the mechanical behaviour and microstructure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C refractories having different graphite content.” *Metallurji Dergisi*, (125), Vol. 24 (2000).
3. BİLGİÇ, M., “Magnezya'nın ve Çelik Yapım Refrakterlerinin Geleceğine Kısa Bir Bakış.” *TMMOB Metallurji Dergisi*, (127), 43-48s. (2001).
4. HEPŞEN, A., “Yüksek Fırınlarda Dökümhane Kanallarında Çimentosuz Refrakter Kullanımı.” *1. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi*, Bildiriler Kitabı, Kdz. Ereğli, Zonguldak (2001).
5. KÖKSAL, N.S., ŞAHİN, S., ÜNLÜ, B.S., “Magnezya Refrakter Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Isıl Çevrimlerle Değişimi.” *Metal Dünyası Dergisi*, (123), 44-47s. (2003).
6. ARISOY, C.F., MUMCU, A., ŞEŞEN, M.K., “Sinter üretiminde bazik oksijen fırını (BOF) cürufunun kullanılmasının etkileri.” *Metallurji Dergisi*, (133), 60-66s. (2003).
7. YEPREM, A.H., “Yerli Boksitlerin Dökülebilir Refrakterlerde Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması.” *Metallurji Dergisi*, (135) (2003).
8. ALTUN, A., KÖKSAL, N.S., TOPARLI, M., “Mechanical Properties Magnesia and Magnesia-Chromite Refractory Materials.” *Key Engineering Materials*, Vol. 264- 268, 1779-1782p. (2004).
9. ARTIR, R., GÜLER, M.O., “Yüksek alüminalı refrakterlerin basma mukavemetlerinin yapay sinir ağıyla tahmini.” *Metallurji Dergisi*, (140), 44-49s. (2005).
10. Ersöz, T., Erkmen, İ. N., “Dünyada ve Türkiye’de Ham Çelik Üretimine Bakış”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32 (2): 1-12 (2016).
11. İnternet: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, “Basında TCUD”, <http://celik.org.tr/category/basinda-tcud/> (2022).

12. Hekim, M., “Demir Çelik Sektöründe Taguchi Destekli Yapay Sinir Ağı Modeli İle Sıvı Ham Demir Kükürt İçeriği Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2022).
13. Yıldız, K., “Demir Çelik Metalurjisi,”, **Sakarya Üniversitesi**, 14, 2-6, 36, 37, 38-39 (2017).
14. Özdemir Ö.& Öz Saraç U., “Demir Çelik Metalurjisi Ders Notları”, **Sakarya Üniversitesi**, (2015).
15. Geerdes, M., Chaigneau, R., Kurunov, I., “Modern Blast Furnace Iron Making an Introduction”, **Netherlands**, 1-12, 43-57, 100-105, 58-65 (2015).
16. Bozkurt, E., “Yüksek Fırın Analizi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 19,78-85,79-82 (2007).
17. İnternet: Millî Eğitim Bakanlığı, “Metalurji Teknolojisi Sinter Üretimi”, [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sinteruretimi.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sinteruretimi.pdf) (2011).
18. Kuşoğlu, İ.M., “Demir Esaslı Metal Tozlarından Geleneksel ve Mikro Dalga Sinterleme Yöntemleri ile Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Doktora Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir (2011).
19. Yıldız, N., “Demir Cevherinin Peletlenmesi”, **Madencilik**, 29 (1):18 (1990).
20. Alan, E., “Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Cüruflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-29, 1-5, 20 (2013).
21. Yüce, A.E., Gürkan, V., Erdoğan, M., Tarkan, H.M., Girgin, Ş., Kangal, M.O., Oktay, F.Y., “Demir Çelik Kullanım Amaçlı Kireç Taşları için Yeni Bir Tanımlama Önerisi”, **Madencilik**, 41 (4): 22 (2002).
22. İnternet: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “Dolomit”, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/dolomit> (2019).
23. İnternet: Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Entegre Demir Çelik Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu”, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/entegre-demir-celik-uretimi\\_nihai-20190205133452.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/entegre-demir-celik-uretimi_nihai-20190205133452.pdf) (2019).
24. Sezer, R., “Metalurjik Yakıtlar ve Refrakter Malzemeler Ders Notları”, **Karadeniz Teknik Üniversitesi** (2019).
25. Dike, Ö.S., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonu Kullanımının Yüksek Fırın Çalışmasına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 13-16 (2008).

26. Yılmaz, K., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonunun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2, 21, 22, 93-95 (2003).
27. Doğanatepe, G., “Hematik Karakterli Demir Cevherinden ve Yüksek Fırın Baca Gazından Sünger Demir Üretilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 24 (2013).
28. Furtun, F., “Pulvarize Kömür Enjeksiyonunun Yüksek Fırın Prosesine Etkileri ve Kardemir 4.Yüksek Fırın Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 7 (2013).
29. İnternet: Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, “Yedinci Bes Yıllık Kalkınma Planı”, Ankara, <http://ekutup.dpt.gov.tr/plan/vii/plan7.pdf> (1995)
30. Refrakter Raporu, Ankara, 1995
31. İnternet: Ünal, O., “Yapı Malzemesi Ders Notları”, <https://docplayer.biz.tr/3839457-Refrakter-malzemeler.html> (2019).
32. İnternet: <https://www.mikrometalurji.com.tr/icerik/silisyum-karbur.html>
33. İnternet: [https://www.mikrometalurji.com.tr/icerik/kahverengi-aluminyum oksit.html](https://www.mikrometalurji.com.tr/icerik/kahverengi-aluminyum-oksit.html)
34. İnternet: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/boksit>
35. İnternet: <https://www.degerlitaslar.gen.tr/korindon-grubu>
36. Geerdes, M., Chaigneau, R., Lingiardi, O., Molenaar, R., & Van Opbergen, R., "Modern Blast Furnace Ironmaking: an Introduction", *Fourth Edition*, (2020).

## ÖZGEÇMİŞ

Mert Orkun HEKİM liseden mezun olduktan sonra 2006 yılında İnşaat Teknolojisi bölümünü kazandı. Ardından 2009 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandı. 2014 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra askerlik hizmetini yedek subay olarak tamamladı. 2016 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak iş hayatına atıldı. 2022 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.