



**YÜKSEK FIRINLARDA SOĞUTMA ELEMANI
OLARAK KULLANILAN BAKIR TÜYERLERİN
ÖMRÜNÜN İNCELENMESİ**

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

Hüseyin AYHAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN**

**YÜKSEK FIRINLARDA SOĞUTMA ELEMANI OLARAK KULLANILAN
BAKIR TÜYERLERİN ÖMRÜNÜN İNCELENMESİ**

Hüseyin AYHAN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Temmuz 2023

Hüseyin AYHAN tarafından hazırlanan “YÜKSEK FIRINLARDA SOĞUTMA ELEMANI OLARAK KULLANILAN BAKIR TÜYERLERİN ÖMRÜNÜN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN
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. 07/07/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Yüksel AKINAY (YYÜ)
Üye : Doç. Dr. Engin ÇEVİK (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN (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.”

Hüseyin AYHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK FIRINLARDA SOĞUTMA ELEMANI OLARAK KULLANILAN TÜYERLERİN ÖMRÜNÜN İNCELENMESİ

Hüseyin AYHAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

Temmuz 2023, 55 sayfa

Çalışma prensipleri yüksek sıcaklık ve basınç altında olan yeni nesil yüksek fırınlar büyük hacimlere sahiptir. Yüksek fırın prosesi, öncelikli olarak ısıtılan havanın yüksek fırın içerisine 1200 °C' yi bulan sıcaklıklarla tüyerlerden üflenerek başlar. Üflenen sıcak hava, yakıt olarak kullanılan kok ve diğer yakıt türlerinin tüyerler vasıtasıyla enjekte edilerek tüyerler önünde yanma işlemi gerçekleştirilir. Bu yanma olayı diğer bir adlandırma ile "raceaway" , yüksek alev sıcaklıklarına ulaşır ve tüyer deliklerinden gözlemlenebilir. Bu yanma olayının gerçekleşmesi ile yüksek fırına üflenen havanın içerisinde bulunan oksijen karbon ile reaksiyona girerek karbonmonoksit (CO) dönüşür. Reaksiyonlar sonucu alev sıcaklığı 2000 ile 2300 °C arasında olabilmektedir. Tüyerler yüksek fırın prosesinin başlangıcı olan sıcak havanın fırına üflendiği nozullardır. İçerisinden geçen sıcak hava 1200 °C'yi bulmaktadır. Tüyerler bu sıcaklığa dayanabilmesi için içerisinde su dolaşmaktadır. Dolaşan suyun soğutma verimini arttırmak için tüyer yapımında termal iletkenliği yüksek olan bakır tercih edilmektedir. İçerisinde su dolaşması nedeniyle

tüyerlerde en ufak bir delik, çatlak vs. oluştuğunda su yüksek fırın içerisine girmektedir. Bu durum fırın içerisindeki madeni soğutmakta ve müdahale edilmez ise fırının donmasına kadar giden hadiselere yol açmaktadır.

Bu nedenle tüyerde oluşabilecek bir su kaçağı durumunda en kısa sürede tüyerin yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bu noktada tüyer dayanımı ve ömrü büyük önem arz etmektedir. Tüyer ömrünün uzatılması üretim kayıplarının önüne geçmek anlamına gelmektedir. Tüyer ömrünü uzatmak adına bir sürü iyileştirme çalışması yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar tüyerin dizaynını ve/veya içerisinden geçen suyun fiziksel özelliklerini değiştirmek şeklinde yapılmaktadır. Bu çalışmada, Kardemir 5. yüksek fırın tüyer performansı incelenmiş ve iyileştirme çalışmaları incelenerek daha uzun ömürlü verim elde etmek amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Yüksek fırın, Bakır, Tüyer, Sıcak hava.

Bilim Kodu : 91530

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE LIFE OF TUYERS USED AS A COOLING ELEMENT IN BLAST FURNACES

Hüseyin AYHAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Muhammet Emre TURAN

July 2023, 55 pages

The new generation blast furnaces, whose working principles are under high temperature and pressure, have large volumes. The blast furnace process starts by blowing the heated air into the blast furnace at temperatures up to 1200 °C from the tuyeres. The blown hot air, the coke used as fuel and other fuel types are injected through tuyers and the combustion process is carried out in front of the tuyers. This combustion phenomenon, also called "raceaway", reaches high flame temperatures and can be observed through tuyere holes. With the realization of this combustion event, the oxygen in the air blown into the blast furnace reacts with the carbon and turns into carbon monoxide (CO). As a result of the reactions, the flame temperature can be between 2000 and 2300 °C. Tuyers are nozzles through which the hot air, which is the beginning of the blast furnace process, is blown into the furnace. The hot air passing through it reaches 1200 °C. Water circulates inside the tuyeres in order to withstand this temperature. In order to increase the cooling efficiency of the circulating water, copper with high thermal conductivity is preferred in

tuyère construction. Due to the circulating water inside, the smallest hole, crack, etc. in the tuyeres. Occurs, the water enters the blast furnace. This situation cools the mine in the furnace and if it is not intervened, it leads to the events leading to the freezing of the furnace.

For this reason, in the event of a water leak that may occur in the tuyere, it should be replaced with a new tuyere as soon as possible. At this point, tuyre durability and longevity are of great importance. Extending the tuyere life means preventing production losses. A lot of improvement work has been done and continues to be done in order to prolong the life of Tuyere. These studies are carried out in the form of changing the design of the tuyere and/or the physical properties of the water passing through it. In this study, the tuyere performance of the Kardemir 5th blast furnace was examined and it was aimed to obtain longer-lasting efficiency by examining the improvement studies.

Key Word : Blast furnace, Copper, Tuyere, Hot air.

Science Code : 91530

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tasarlanması ve yürütülmesinde bana destek olan, engin bilgi ve tecrübelerini aktaran danışmanım Sayın Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ihtiyaç duyduğum verileri kullandığım için Kardemir Karabük Demir elik Sanayi ve Ticaret A.Ő. 'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
TÜRKİYE DEMİR ÇELİK VE YÜKSEK FIRINLAR	4
2.1. TÜRKİYE’DE DEMİR ÇELİK	4
2.2. YÜKSEK FIRIN PROSESİ	6
2.2.1. Yüksek Fırın Hareketi ve Gelişimi	9
2.2.2. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri	12
2.2.2.1. Boğaz (Throat)	13
2.2.2.2. Gövde (Shaft)	13
2.2.2.3. Bel (Belly).....	13
2.2.2.4. Karın (Bosh).....	13
2.2.2.5. Hazne (Hearth).....	13
2.3. YÜKSEK FIRINDAKİ REAKSIYONLAR VE ERGİME.....	14
2.3.1. Ergime Sahası	15
2.3.2. Alt Bölge Reaksiyonları	16
2.3.3. Tüyer Seviyesi	16
2.4. YÜKSEK FIRIN GIRDILARI VE ÇIKTILARI	17
2.4.1. Sıvı Hamdemir.....	17

	<u>Sayfa</u>
2.4.2. Cüruf.....	18
2.4.3. Yüksek Fırın Gazı.....	19
2.4.4. Baca Tozu	19
2.5. FIRINA ÜFLENEN HAVANIN SICAKLIK, BASINÇ VE DEBİSİ	19
2.6. CÜRUF BAZİTESİ.....	20
2.7. KARDEMİR YÜKSEK FIRINLARI.....	21
BÖLÜM 3	22
TÜYER	22
3.1. TÜYER ÖMRÜNÜ ARTIRMAK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
3.1.1. Tüyer Ömrünü Arttırmak İçin Yapılan Farklı Tüyer Dizaynları.....	23
3.1.2. Tek Çevrimli Tüyer Dizayni.....	23
3.1.3. Çift Çemberli Tüyer Dizayni	24
3.1.4. Spiral Çevrimli Tüyer Dizayni	26
3.1.5. Tüyer Burunlarına Aşınmaz Dolgu Uygulamaları	27
3.2. YÜKSEK FIRIN İÇERİNDEKİ ÇİNKO ÇEVİRİMİ.....	28
3.3. YÜKSEK FIRINLARDA ÇİNKONUN TÜYERLERE ZARAR VERME MEKANİZMASI	30
BÖLÜM 4	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1. A FIRMASININ TÜYER İNCELEMESİ.....	33
4.2. B FIRMASININ TÜYER İNCELEMESİ	36
4.3. C FIRMASININ TÜYER İNCELEMESİ.....	40
4.4. D FIRMASININ TÜYER İNCELEMESİ.....	44
BÖLÜM 5	47
BULGULAR, TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’de çelik üretimi	4
Şekil 2.2. Yüksek fırın kesiti.....	7
Şekil 2.3. Yüksek fırın ters akım hareketi.....	10
Şekil 2.4. Yüksek Fırına ait temsili sıcaklık değerleri	11
Şekil 2.5. Yüksek fırın yapısı ve bölümleri.	12
Şekil 3.1. Yüksek fırın üfleme tertibatı.....	22
Şekil 3.2. Tek çevrimli tüyer şematik gösterimi.	24
Şekil 3.3. Tüyer Teknik Resmi.	24
Şekil 3.4. Çift çevrimli tüyer şematik gösterimi.	25
Şekil 3.5. Çift çevrimli tüyer kesit resmi.	25
Şekil 3.6. Çift çemberli tüyer.	26
Şekil 3.7. Spiral çevrimli tüyer kesit resmi.	26
Şekil 3.8. Kaynak Dolgulu Tüyer.	27
Şekil 3.9. Çinkonun Tüyer içerisindeki Difüzyon Mekanizması.....	28
Şekil 3.10. Fırın içerisindeki çinkonun yaklaşık hangi malzmeden kaynaklandığı... 29	
Şekil 3.11. Yüksek fırın içerisine giren çinkonun ayrıldığı noktalar.....	30
Şekil 3.12. Fırında biriken çinkonun fırın kesiti boyunca dağılımı.	30
Şekil 3.13. Alaşım içinde çinko içeriğindeki miktarına bağlı iletkenlik değişimi	31
Şekil 4.1. A Firması Tüyer.....	33
Şekil 4.2. A Firması Tüyer İletkenlik Testi.	33
Şekil 4.3. A Firması Yanık Tüyer.	34
Şekil 4.4. A Firması Zaman Aşımı	34
Şekil 4.5. A Firması Arka Hücre Delik.....	34
Şekil 4.6. A Firması Zaman Aşımı.	35
Şekil 4.7. A Firmasına Ait Tüyerlerine Teknik Resime Göre Ölçü Kontrolü.	35
Şekil 4.8. B Firması Tüyer.	37
Şekil 4.9. B Firması Tüyer İletkenlik Testi.....	37
Şekil 4.10. B Firması Yanık Tüyer.	38
Şekil 4.11. B Firması Zaman Aşımı.....	38
Şekil 4.12. B Firması Arka Hücre Delik.....	38

Sayfa

Şekil 4.13. B Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü.....	39
Şekil 4.14. C Firması Tüyer.....	41
Şekil 4.15. C Firması Tüyer İletkenlik Testi.....	41
Şekil 4.16. C Firması Yanık Tüyer	42
Şekil 4.17. C Firması Zaman Aşımı.....	42
Şekil 4.18. C Firması Arka Hücre Delik.....	42
Şekil 4.19. C Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü.....	43
Şekil 4.20. D Firması Tüyer.....	44
Şekil 4.21. D Firması İletkenlik Testi.....	44
Şekil 4.22. D Firması Yanık Tüyer.....	44
Şekil 4.23. D Firması Zaman Aşımı.....	44
Şekil 4.24. D Firması Arka Hücre Yanık.....	45
Şekil 4.25. D Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü.....	45
Şekil 5.1. Tüyer İletkenlik Grafiği.....	48
Şekil 5.2. Kontrollü Tüyer Kesimi ve Kesit Görünümü.....	49
Şekil 5.3. Çinko Girdisi ve Tüyer.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. 5 Nolu Yüksek Fırın için Mak. Hava Debisi, basıncı ve sıcaklığı.....	20
Çizelge 4.1. A firması Tüyerleri Ömür\Gün.	36
Çizelge 4.2. B firması Tüyerleri Ömür\Gün.	39
Çizelge 4.3. C firması Tüyerleri Ömür\Gün.	43
Çizelge 4.4. D firması Tüyerleri Ömür\Gün.	46
Çizelge 5.1. Tüyer İletkenlik Ve Tüyer Ömrü.	48
Çizelge 5.2. Firmalara göre Tüyer Performans Parametreleri.	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
O ₂	: Oksijen
CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
H ₂	: Hidrojen
He	: Helyum
°C	: Derece (Santigrat Derece)
S	: Kükürt
Mn	: Mangan
Fe	: Demir
Si	: Silisyum
P	: Fosfor
Ti	: Titanyum
N ₂	: Azot
%	: Yüzde
SiO ₂	: Silisyum Dioksit
Mm	: Milimetre
Kg	: Kilogram
CaO	: Kalsiyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Fe(OH) ₃	: Limonit
K ₂ O	: Potasyum Oksit
Na ₂ O	: Sodyum Oksit

KISALTMALAR

BOF	: Bazık Oksijen Fırını
PCI	: Pulvarize Kömür Enjeksiyonu
İSDEMİR	: İskenderun Demir �elik Fabrikaları
KARDEMİR	: Karabük Demir �elik Fabrikaları
ERDEMİR	: Ereğli Demir �elik Fabrikaları
TCP	: Termokupl (Sıcaklık �l�er)
BF	: Blast Furnace (Yüksek Fırın)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir ve Çelik üretimi gelişmiş ve özellikle gelişmekte olan ülkelerin gayri sarfi milli hasıllarında önemli bir paya sahiptir ve kişi başına tüketilen Çelik miktarı ülkelerin gelişmişlik derecesini gösteren önemli bir parametredir. Gelişmiş ülkelerde kişi başı çelik tüketimi 400-650 kg/kişi-yıl civarındadır. Ülkemizde ise bu rakam 325 kg/kişi/yıl seviyelerindedir [1].

2021 yılı dünya çelik üretimi yaklaşık 1,95 milyar ton civarında gerçekleşmiştir. Dünyanın en büyük çelik üreticisi Çin'dir. 2021 yılında toplam 1 milyar 65 milyon ton çelik üretmiştir. Ülkemiz 2021 yılı verilerine göre dünya çelik üretiminde 7. Sırada yer almaktadır. Ülkemizde 2021 yılında bir önceki yıla göre %12,7 artış ile 40,4 milyon ton çelik üretilmiştir. Ülkemiz sanayisi için çelik sektörü kapasitesi her geçen yıl artarak lokomotif görevini üstlenmeye devam etmektedir. Dünya çelik üretiminin yaklaşık % 65'i demir cevherlerinin yüksek fırınlar ve çelikhane vasıtası ile redüklendiği entegre tesisler ile geriye kalan % 40'i da hurdaların çeşitli yöntemler ile eritilmesi ile elde edilmektedir. Hurda kaynaklarının sonsuz olmadığı ve nihai Çelik üretiminin entegre tesisler ile yapılabildiği göz önüne alınırsa çelik üretiminin %99'unda yüksek fırınların rolü vardır [1].

Yüksek fırın, entegre lystem1ir-çelik tesisinde demir cevherlerinin indirgenerek sıvı hamdemirin üretildiği tesistir. Demir cevheri, sinter ve pelet gibi demirli malzemeler kok yardımıyla ergitilir ve sonucunda sıvı maden elde edilir. Demirli malzemeler ve kokun yanında harmana ilave edilen curuf yapıcılar ile cevherlerin bünyesinde bulunan gang mineralleri curuf fazına geçer. Nihai olarak üretilen sıvı hamdemir ve curuf ana maden kanalında birbirinden ayrılır. Yüksek fırınların teknolojik anlamda gelişmesi ve boyutsal olarak büyümesi 20. Yüzyılda gerçekleşmiştir. 20.Yüzyılın başlarında yüksek fırınların hazne çapı 4-5 m ile sınırlıydı ve yıllık üretim kapasiteleri

100.000 tondan öteye geçememekteydi. 20.Yüzyılın sonunda ise hazne çapı 14-15 metre olan ve yıllık üretim kapasitesi 3 milyon tonlara çıkan yüksek fırınlar dizayn edilmeye başlandı. Demirli malzemelerdeki iyileştirme ve optimizasyon çalışmaları neticesinde sinter ve pelet üretimi geliştirilmiştir. Bu sayede yüksek fırınların üretim performansı ve kalitesi arttırılmıştır. Sinter ve pellet üretiminin yaygınlaşması ile birlikte Parça cevher kullanım oranları % 10-15 seviyelerine düşürülmüştür.

Demirli malzemelerdeki iyileştirmelerin yanında kok ile beraber ilave reductant malzemelerin kullanılması üretim miktarının ve kalitesinin gelişmesine katkıda bulundu. 1960' lı yıllarda gaz enjeksiyon, 1980' li yıllarda da kömür enjeksiyon yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. Günümüzde, sıvı maden üretmek için ihtiyaç duyulan kok miktarının yaklaşık %30-50' nin yerini kömür enjeksiyonu almıştır. Son teknoloji ile dizayn edilen fırınlarda bu oran %50'lere ulaşmıştır [2].

Yüksek fırınların üretim kapasiteleri genel olarak hazne çaplarıyla yani hacimleri ile ifade edilir. Fırın hacmi, toplam hacim ve çalışma hacmi şeklinde ikiye ayrılır. Çalışma hacmi, fırının tüyer bölgesinden sarj seviyesine kadar olan kısım olarak tanımlanır. Yüksek fırın prosesi, öncelikli olarak ısıtılan havanın yüksek fırın içerisine 1200 °C yi bulan sıcaklıklarla tüyerlerden üflenerek başlar. Üflenen sıcak hava, yakıt olarak kullanılan kok ve diğer yakıt türlerinin tüyerler vasıtasıyla enjekte edilerek tüyerler önünde yanma işlemi gerçekleştirilir. Bu yanma olayı diğer bir adlandırma ile "raceaway", yüksek alev sıcaklıklarına ulaşır ve tüyer deliklerinden gözlemlenebilir. Gerçekleşen bu yanma olayında yüksek fırına üflenen hava içerisindeki oksijen reaksiyon vererek karbonmonoksit (CO) dönüşür. Reaksiyonlar sonucu alev sıcaklığı 2000 ile 2300 °C arasında olabilmektedir. Elde edilen bu alev sıcaklığı sayesinde ergiyik demirin elde edilebilmesi için gerekli olan ısı sağlanmış olur [2].

Yüksek fırınlarda bulunan tüyer adedi fırın büyüklüklerine göre değişmektedir. Kardemir yüksek fırınları ele alındığında 1 ve 4 nolu yüksek fırın 14, 5 nolu yüksek fırın da ise 24 adet tüyer bulunmaktadır. Tüyerler yüksek fırın prosesinin başlangıcı olan sıcak havanın fırına üflendiği nozullardır. İçerisinden geçen sıcak hava 1200 °C yi bulmaktadır.

Tüyerler bu sıcaklığa dayanabilmesi için içerisinde su dolaşmaktadır. Dolaşan suyun soğutma verimini arttırmak için tüyer yapımında termal iletkenliği yüksek olan bakır tercih edilmektedir. İçerisinde su dolaşması nedeniyle tüyerlerde en ufak bir delik, çatlak vs. oluştuğunda su yüksek fırın içerisine girmektedir. Bu durum fırın içerisindeki madeni soğutmakta ve müdahale edilmez ise fırının donmasına kadar giden hadiselere yol açmaktadır. Bu nedenle tüyerde oluşabilecek bir su kaçağı durumunda en kısa sürede tüyerin yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Tüyerin değişebilmesi için yüksek fırının mutlak suretle durdurulması gerekmektedir. Yüksek fırının durması demek üretim kaybı anlamına gelmektedir [2].

Bu noktada tüyer dayanımı ve ömrü büyük önem arz etmektedir. Tüyer ömrünün uzatılması üretim kayıplarının önüne geçmek anlamına gelmektedir.

Tüyer ömrünü uzatmak adına bir sürü iyileştirme çalışması yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar tüyerin dizaynını ve/veya içerisinden geçen suyun fiziksel özelliklerini değiştirmek şeklinde yapılmaktadır [2].

BÖLÜM 2

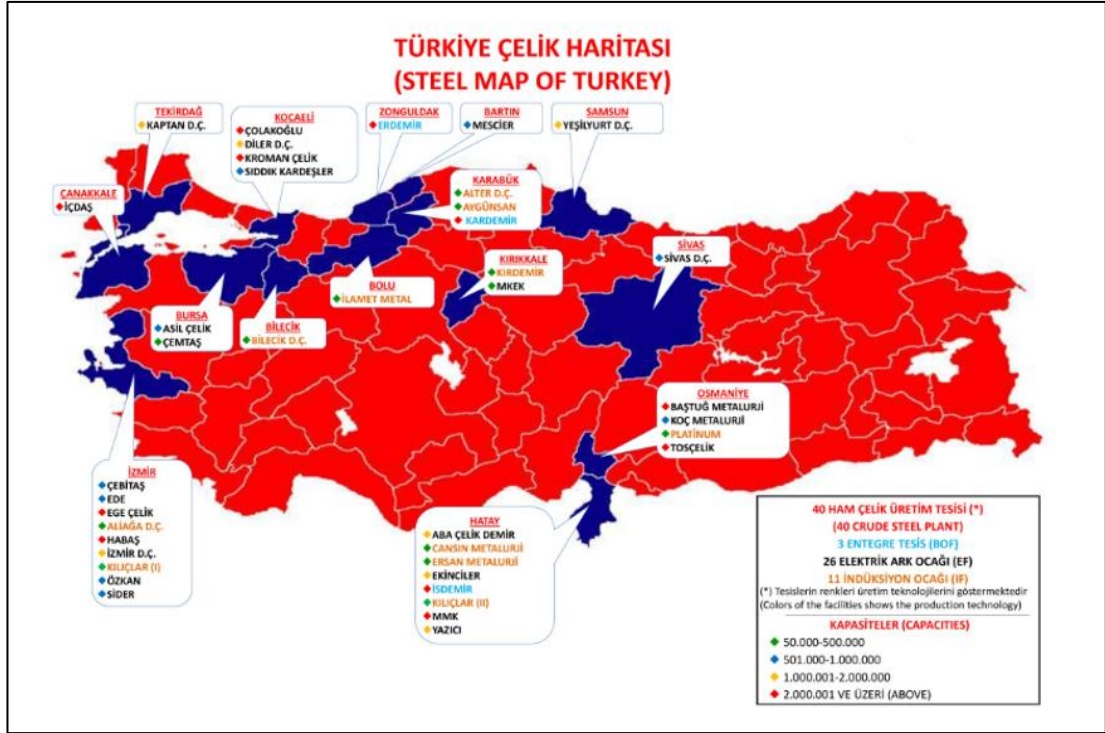
TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK VE YÜKSEK FIRIN PROSESİ

2.1. TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK

Demir-Çelik Sanayinin kurulup kurulamayacağı ile ilgili fizibilite çalışmaları 1925 yılında İktisat Vekaleti (Hazine ve Maliye Bakanlığı) tarafından başlatılmıştır. Yurt dışından uzmanlar getirilerek kömür ve cevher yatakları ile birlikte petrol yatakları incelenmiştir. Maden ve cevher yataklarının yatırım uygunluğu ile birlikte diğer tüm parametreler göz önünde bulundurularak ülkenin sektör için uygunluğu yatırımın nereye yapılabileceği ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. 1925 yılında başlayan araştırmalar bir süre kesintiye uğramıştır ve 1932 yılında Rus heyeti önderliğinde tekrar başlamıştır. Karabük bölgesi ilk yatırım yeri olarak seçilmiştir. Karabük bölgesinin seçilmesinde jeopolitik konumu, kömür madenlerinin bulunduğu Zonguldak bölgesine yakın olması, demiryolu taşımacılığına elverişli olması ve tesiste çalışabilecek işçilerin yerleşimi için yeterli elverişli alana sahip olması etkili olmuştur [3].

Türkiye'de ilk çelik üretimi Kırıkkale'de 1928 yılında gerçekleştirilmiştir. İlk entegre demir-çelik tesisi olan Kardemir 1939 yılında açılmıştır ve sonrasında Türkiye'nin yassı çelik üretim talebi karşılamak için Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) devreye alınmıştır.

1977 yılında ise Türkiye'nin üçüncü entegre demir çelik tesisi olan İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) faaliyete başlamıştır [4].



Şekil 2.2. Türkiye’de çelik üretimi.

Türkiye Çelik sektörü açısından geniş bir yelpazeye sahiptir ve Çelik sektörü G.S.M.H açısından büyük öneme sahiptir. Türkiye’de Çelik üretimi yapan 40 adet tesis bulunmaktadır. Bunların 26’sı elektrik ark ocaklı (EAO), 11’i indüksiyon ocağı ve 3’ü entegre üretim tesistir [5].

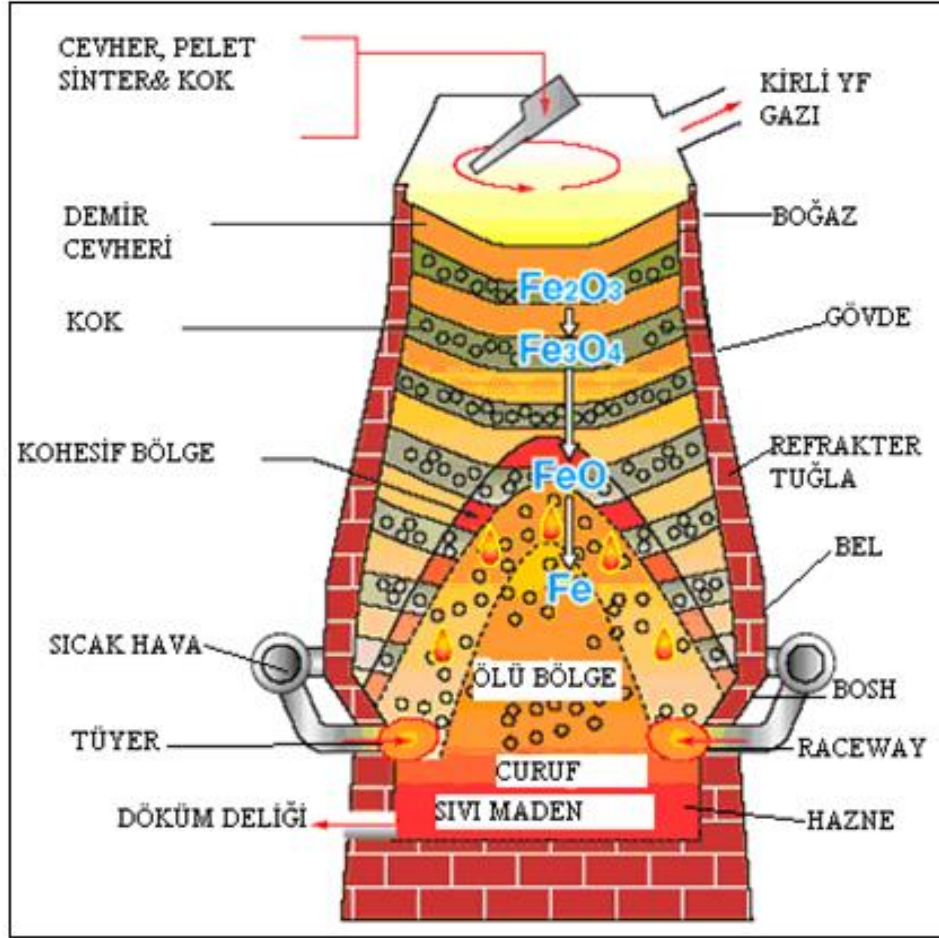
2022 yılında Türkiye 35,1 milyon ton çelik üretmiştir ve bu rakam dünya genelinde 1,8 milyar ton olarak gerçekleşmiştir [5].

2023 yılı ilk 2 ayında Türkiye çelik üretimi 4,7 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 2022 yılı ile karşılaştırıldığında düşük kalmıştır. Bunun nedeni deprem felaketinin yaşandığı bölgede bulunan demir-çelik sektörünün kısa süreli kesintiye uğramasıdır [6].

2.2. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

Yüksek Fırın, demir cevherlerinde bulunan demir oksitlerin bir dizi kimyasal reaksiyon ile redüklenip sıvı hamdemir haline getirildiği termo-kimyasal bir prosestir. Demir cevherlerinin bünyesinde bulunan demir harici gang minerelleri de yine bir dizi kimyasal reaksiyon neticesinde curuf fazına geçer ve sıvı halde fırından tahliye edilir. Yüksek fırın prosesinin iki ana çıktısı olan sıvı hamdemir ve curuf maden kanalları vasıtası ile birbirinden ayrılır. Sıvıhamdemir Çelik olmak üzere çelikhaneye gönderilirken curuf yapılan granülasyon işlemi sonrasında çimento hammaddesi olarak kullanılır. Gerçekleşen reaksiyonlar neticesinde oluşan yüksek fırın gazı, gaz temizleme tesisinde katı partiküllerinden arındırılır ve kalorifik değeri sayesinde fabrikanın muhtelif ünitelerinde yakıt olarak kullanılır. Gaz temizleme tesisinde yüksek fırın gazının bünyesinden çıkan katı partiküller baca tozu olarak adlandırılır. Yüksek oranda Fe ve C içeren bu tozlar sinter prosesinde hammadde olarak kullanılmak üzere harmanlama tesisine gönderilir.

Yüksek fırın kesit resmi şekil 2.1’de gösterildiği gibidir. Silindirik bir yapıya sahip olan tepe kısmı boğaz olarak adlandırılır ve boğazın alt kısmını ise gövde oluşturur. Gövde çapı fırının bel diye adlandırılan kısmına kadar genişleyerek devam eder. Fırının bel bölgesinin altında bosh diye tabir edilen kısım bulunur. Bosh bölgesinde çap daralır ve hazne ile birleşir. Fırının en alt bölgesi hazne diye adlandırılır. Sıvı haldeki maden ve curuf bu kısımda toplanır. Fırının en tepesinde malzemelerin fırına şarj edilmesini sağlayan tepe sistemi bulunur. Tepe sistemi çanlı veya çansız olabilir. Günümüzde gelişen teknolojinin etkisiyle çanlı sistemlerden çansız sistemlere geçilmektedir. Gövdede çapın genişlemesi fırın içerisinde termal olarak genişleyen gazın tepeye doğru hareketini ve şarj edilen malzemelerin aşağı doğru hareketini kolaylaştırır. Curufun ve metalin ergiyerek sıvılaşması bell bölgesinde başlar. Bosh bölgesi ters bir koniyi andırır ve altın hazne bulunur [7].



Şekil 2.2. Yüksek fırın kesiti [5].

Sıcak hava, tüyerler vasıtası ile fırın büyüklüğüne bağlı olarak 1000-1200 C⁰ ve 1,5-2,5 atm basınç ile fırına üflenir. Fırına girdiği noktada havanın hızı yaklaşık olarak 150-300 m/s olmaktadır.

Fırın dizaynında boyutlar çok hassas seçilmelidir. Özellikle gövde, bell ve bosh açısı çok önemlidir. Fırın içerisine şarj edilen malzemenin düzgün ilerlemesi ve fırına üflenen havanın stabil dağılımı için dizayn konusunda hassas davranılmalıdır. Gelişen fırın teknolojilerinde bosh bölgesinin boyu kısa ve genişliği yüksek seçilmektedir. Maden ve curufun fırında tahliye edildiği deliğe döküm deliği adı verilir. Yüksek fırın dizayn edilirken önceleri maden ve curufun tahliyesi için ayrı ayrı 2 delik olacak şekilde dizayn yapılmıştır. Günümüzde ise tek döküm deliği vardır ve maden-curuf aynı delikten tahliye edilmektedir. Yüksek fırınlara hava sağlayan sistemlere körük (Blower) adı verilmektedir. Körükten gelen soğuk hava (150⁰ C) subalar vasıtası ile ısıtılarak 1000-1200⁰ C ye çıkarılmaktadır.

Sıcak hava simit boru adı verilen büyük bir kollektörden tüyerlere dağıtılmaktadır ve son olarak tüyerler vasıtası ile fırına üflenmektedir [7].

Fırının en tepesinde sarj edilen malzemelerin düzgün dağılımını sağlamak ve fırının atmosfer ile bağlantısını kesmek için tepe sistemi denilen ekipmanlar bulunmaktadır. Tepe sistemleri çanlı ve çansız olam üzere iki tiptir. Modern fırınların tamamında çanlı system terk edilmiştir ve çansız sisteme geçiş yapılmıştır. Çansız System sıvı maden kalitesi ve üretim verimliliği açısından büyük fayda sağlamaktadır.

Çansız System farklı malzeme dağılım modelleri sunabilmektedir. Bu sayede yüksek fırınların verimleri artarken ürün kalitesi de daha stabil hala gelmiştir. Ayrıca farklı malzeme kompozisyonlarının farklı şarj dağılım modelleri ile fırına beslenebilmesini de sağlamaktadır. Bu sayede fırın içerisindeki gaz dağılımını yönetmek daha kolay bir hal almaktadır.

Yüksek fırın refrakterleri yüksek sıcaklığa dayanıklı olmalıdır. Günümüz teknolojisinde özellikle bosh, bell ve haznede karbon tuğlalar tercih edilmektedir. Üst bölgede ise aşınmaya dayanıklı refrakter sistemleri kullanılmaktadır. Yüksek fırının sısıya en çok maruz kalan kısmı haznedir ve hazne tuğlası ömrü fırın ömrünü belirleyen önemli bir parametredir. Bu nedenle hazne örümü ve hazne için kullanılacak tuğla seçimi çok önemlidir. Fırın gövde ve hazne tuğlalarını sıcaklıktan korumak için tuğla aralarında soğutucular kullanılır. Bu soğutucular tamamen fırın dizaynına bağlı olarak plate ve/veya stave olabilir [8].

Fırın tepesinden şarj edilen malzemeler redüklenerek tüyer üzerine kadar gelir. Tüyer önünde katı olan tek malzeme koktur. Kok proses için gerekli ısıyı sağlar ve demirli malzemelerin redüklenmesi için gerekli olan redüktantları üretir. Bunların yanında kok fırın içerisinde malzemelerin mekanik mukavemetini sağlayarak iskelet yapısını oluşturur. Sıvı hale geçen maden ve curuf iskeleti oluşturan kok parçacıklarının arasından süzülerek damlalar halinde hazneye iner [9].

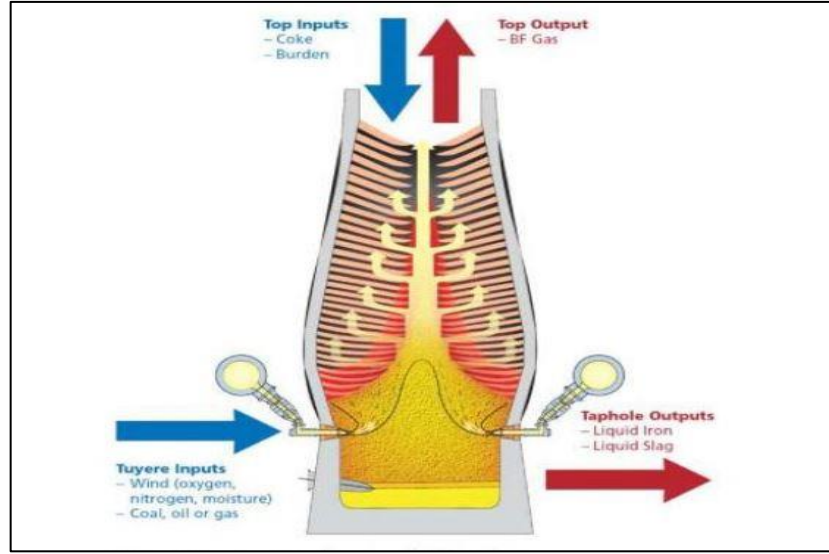
Yüksek Fırın, 20-70 m yüksekliğinde içi şarj edilen malzemelerin fiziksel etkisine ve yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakterler ile kaplanmış iki kesik koninin ters olarak üst üste kapatılmış şekline benzeyen fırın olarak tarif edilebilir. Tepesinden demirli malzemeler, kok ve flaks malzemeler şarj edilen basınçlı fırınlar olarak da tabir edilebilir. Fırın geometrisinin alt bölgelere indikçe genişliyor olmasının sebebi fırına şarj edilen malzemelerin aşağı doğru indikçe sıcaklığın etkisi ile genişterek hacimlerinin artıyor olmasıdır [7].

Yüksek fırınların toplam hacmi genellikle 250-3500 m³ arasında bulunmaktadır. 1 m³ fırın hacmi için günde 1,5-3-ton sıvı hamdemir elde edilmektedir. 1-ton sıvı hamdemir elde etmek için, ortalama 500-600 kg civarında yakıt (kok, PCI vs.) kullanmak gerekmektedir. Yine 1-ton sıvı hamdemir elde etmek için yaklaşık olarak 1700 kg demirli malzeme gerekmektedir. 1-ton sıvı hamdemir üretimi sırasında yaklaşık olarak 300 kg da curuf üretilmektedir [9,10].

2.2.1. Yüksek Fırın Hareketi ve Gelişimi

Yüksek fırın prosesi Demir çelik üretiminin en önemli proseslerinden birisidir. Demir cevherleri bir dizikimyasal reaksiyon neticesinde indirgenir ve nihayetinde sıvı hamdemire dönüşür. Yüksek fırınlar üretim kapasitelerine bağlı olarak 20-70 metre arasında olabilir. Yüksek fırınların dışında Çelik zırh bulunur. Çelik zırhın iç kısmı ısıya dayanıklı refrakter malzemeler ile kaplıdır ve bu refrakter malzemeleri yüksek ısıdan korumak için soğutucu elemanlar bulunur.

Yüksek fırına şarj edilen malzemelerin ve akışkanların hareket yönü Şekil 2.3. 'Dekigibidir.



Şekil 2.3. Yüksek fırın ters akım hareketi.

Yüksek fırına şarj edilen malzemeler fırın içerisinde katmanlar halindedir. Sıcak hava simit boru vasıtası ile tüyerlerden fırın içerisine üflenir. Fırınların tüyer sayıları hacimleri ile doğru orantılıdır. Fırın büyüklüğüne bağlı olarak 12 ila 48 tüyerli fırınlar mevcuttur. Fırına üflenilen hava öncesinde sobalardan geçmektedir ve 1200 °C' ye kadar ısınmaktadır. Sobalarda yakıt olarak temiz yüksek fırın gazı kullanılmaktadır.

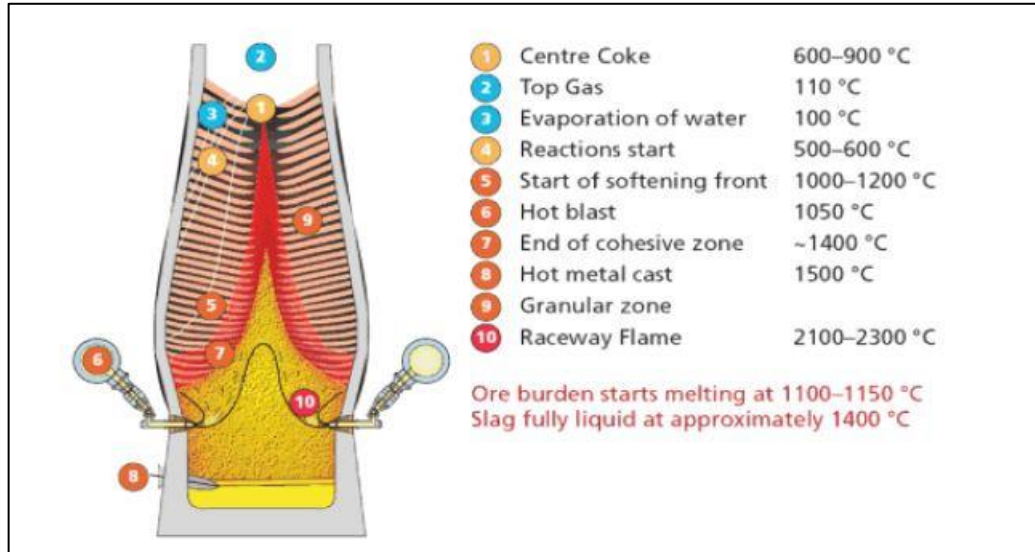
Tüyerlerden üflenilen sıcak hava içerisinde bulunan oksijen kok bünyesindeki karbon ile reaksiyona girer ve karbonmonoksit gazına dönüşür. Tüyer önüne gelen kok tüyer önünde boşluk oluşturarak Şekil 2.2'te görüldüğü gibi sıcak havanın fırın içerisinde hareket oluşturmasını sağlar. Sıcak havanın kok ile buluşması neticesinde oluşan sıcak gaz fırın yukarı doğru hareket ederek fırın içerisinde kimyasal reaksiyonların oluşmasını sağlar. Tüyer önünde gerçekleşen yanma sonucu oluşan alevin sıcaklığı yaklaşık olarak 2100-2300 °C'dir.

Fırın içerisinde yukarı doğru hareket eden redükleyici gaz demirli malzemeler ile karşılaşır ve demir oksitleri redüklemek suretiyle demire indirir. Demirin indirgenmesinin yanında demirli malzemeler içerisinde bulunan gang mineralleri de bir dizi kimyasal reaksiyon neticesinde cüruf fazını oluşturur. Erimiş haldeki metal ve cüruf tüyer önünde bulunan kok katmanının arasından süzülerek hazneye damlar ve

kok katmanının arasından süzülürken bünyesine bir miktar karbon alır. Bu olaya da karbürizasyon adı verilir.

Yüksek fırın, şarj edilen malzemeler ile üflenen sıcak hava arasında karşılıklı ısı transferi ve hava içerisindeki oksijenin demirli malzemeleri redüklenmesi suretiyle kütle transferi olarak da düşünülebilir. Bu transferler sayesinde sarj edilen malzemelerin yukarıdan aşağı doğru hareketi sağlanır.

Şekil 2.3' te yüksek fırınlara ait temsili sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Şekilde gösterilen 1100 ile 1450 °C aralığı demirli malzemelerin yumuşama ve ergimeye başladığı bölümdür. Fırın içerisinde sıcaklık oldukça değişkendir. Dikey ekseninde oluşan sıcaklık gradienti, yatayda ekseninde oluşan sıcaklık gradientinden daha fazladır.



Şekil 2.4. Yüksek Fırına ait temsili sıcaklık değerleri.

Yüksek fırınların üretim kapasiteleri genel olarak hazne çaplarıyla yani hacimleri ile ifade edilir. Bir yüksek fırının hacmi iki şekilde ifade edilir. Bunlardan birincisi toplam hacimdir ve fırının tabanından sarj seviyesine kadar olan kısmın hacmidir. İkincisi ise fırının tüyer seviyesinden sarj seviyesine kadar olan kısmını kapsayan çalışma hacmidir. Günümüzde yüksek fırınlar 5 milyon tondan daha faz üretim sağlayabilmektedirler. Örneğin Güney Kore de bulunan POSCO firmasına ait bir fırın 6.000 m³ hacime sahiptir ve yılda 5,6 milyon ton üretim yapabilmektedir. Rusyada

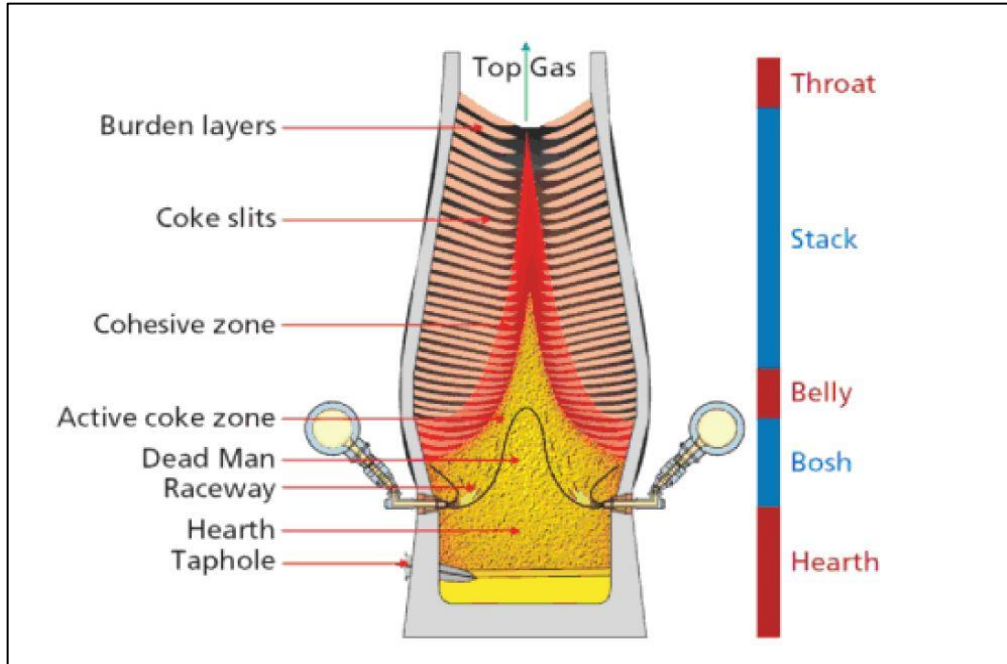
bulunan Cherepovest (No:5) fırını 6141 m³ hacime sahiptir ve yılda 4,7 milyon ton üretim yapabilmektedir.

2.2.2. Yüksek Fırın Yapısı ve Bölümleri

Yüksek fırın, dikeydir ve konik yapıya sahiptir. Yüksek fırının en dışında çelik zırh bulunmaktadır. Proses gereği gerçekleşen reaksiyonlar neticesinde açığa çıkan ısıdan zırhı koruma için fırın içerisinde refrakter tuğlalar kullanılır. Tuğlaların yüksek sıcaklığa karşı dayanımı arttırmak ve tuğla ömrünü uzatmak için tuğlalar arasına soğutucu plakalar yerleştirilir.

Yüksek fırını oluşturan 5 bölüm aşağıdaki gibidir;

1. Boğaz (Throat)
2. Gövde (Shaft)
3. Bel (Bell)
4. Karın (Bosh)
5. Hazne (Hearth)



Şekil 2.5. Yüksek fırın yapısı ve kısımları.

2.2.2.1. Boğaz (Throat)

Fırında malzemelerin şarj edildiği ve oluşan yüksek fırın gazının uptake adı verilen bacalar vasıtası ile dışarıya atıldığı kısımdır. Fırının boğaz bölgesinde çanlı veya çansız sistem olarak bilinen tepe sistemi bulunmaktadır. Fırına sarj edilen malzemeler tepe sistemi vasıtası fırına ile alınır.

2.2.2.2. Gövde (Shaft)

Fırının uzun ve aşağıya doğru genişleyen kısmıdır. Malzemelerin ve yüksek fırın gazının ısınması sonucu hacimleri artmaktadır. Gaz ve malzemeler gövde kısmında rahat hareket edebilmektedir. Gövde bölümünde cevher ve kok katmanlar halinde aşağıya doğru hareket eder. BU bölgesi demirli malzemelerin ısındığı ve redüksiyonun başladığı bölgedir. Fırına tepeden verilen malzeme yaklaşık 8-10 saat sonra hazneye ulaşmaktadır.

2.2.2.3. Bel (Bell)

Yüksek fırının çap olarak en geniş bölgesidir. Sıvı madenin ve cürufun erimesi ve sonrasında hacimlerinin azalması Bel bölgesinde başlar.

2.2.2.4. Karın (Bosh)

Üstünde bel bölgesi altında hazne bulunan ters koni şeklindeki kısımdır. Redüksiyonun tamamlandığı ve ergimenin gerçekleştiği bölgedir. Bosh bölgesi aşağı doğru indikçe daralır. Bu kısmın daralmasının sebebi kısmi ergimenin sağlanmasıdır. Karın bölgesinde eriyen cüruf ve sıvı maden dikey ekseninde çapı sabit olan hazne kısmında damlalar halinde birikir.

2.2.2.5. Hazne (Hearth)

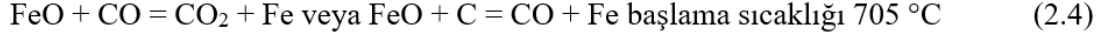
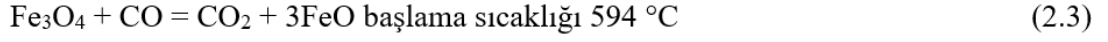
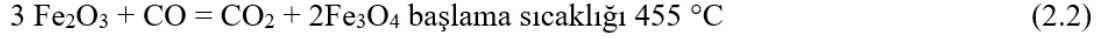
Sıvı maden ve cürufun birikip fırından tahliye edildiği kısımdır. Fırının en altında bulunan silindirik bölümdür. Bu bölümün en üst kısmında fırının kapasitesine göre

adedi belirlenen ve sıcak havanın üflendiği adına tüyer denilen delikler bulunur. Tüyerler bakırdan yapılmıştır ve su ile soğutulmaktadır. Haznenin en alt kısmında sıvı madenin ve cürufun fırının dışarısına alınmasını sağlayan döküm deliği bulunur. Döküm deliği belirli periyotlarda matkap motoru ile açılır ve haznedeki maden ve cüruf dışarı alınır. Hazne boşaldıktan sonra döküm deliği, çamur topu denilen ekipman ile ısıya dayanıklı rafrakter enjekte edilmek suretiyle kapanır [11].

2.3. YÜKSEK FIRINDAKİ REAKSİYONLAR VE ERGİME

Yüksek fırına şarj edilen demirli malzemelerin içerisinde bulunan demir oksitler C ve CO ile tepkimeye girerek bünyesindeki oksijenden arınıp demir haline gelirler. Bu reaksiyonlar neticesinde oluşan CO ve CO₂ yüksek fırın gazı ile fırını terk ederken oluşan demir sıvı hale geçerek hazneye iner. Yüksek fırına şarj edilen demir oksitlerin tamamının indirgenebilmesi için fırına yeteri kadar C ilavesi yapmak gerekmektedir. Bu nedenle fırının karbon kaynağı olan yakıtların miktarı belirlenen bir hesap ve yapılan bir balans ile belirlenir. Fırına tüyerlerden üflenen hava fırının oksijen kaynağıdır ve yakıtların yanmasını sağlar. Yanma sonucu oluşan CO gazı fırın boyunca yükselir ve bir dizi reaksiyonun neticesinde demirli oksitlerin redüklenmesini sağlar. Gerçekleşen reaksiyonlar fırın boyunca basınç ve sıcaklık farkından dolayı farklılık gösterir. Bu nedenle reaksiyonlar fırının altında ve üstünde gerçekleşenler olarak birbirinden ayrılır [8].

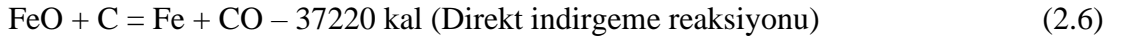
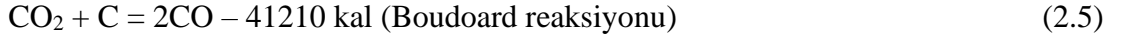
Yüksek fırın prosesi ters akım mantığına göre işleyen bir prosestir. Ters akımdan kasıt katıların yukarıdan aşağı inmesi ve gazların aşağıdan yukarı çıkmasıdır. Yüksek fırında sıvı hamdemir elde edilmesi demir oksitlerin sırası ile Hematite (Fe₂O₃), sonra magnetite (Fe₃O₄) ve wüstite (FeO) son olarakta oksijenin tamamen yapıdan uzaklaşarak demirin yalnız kalarak sıvı hale geçmesi demektir. Bu reaksiyonların sıralaması ve kinetiği aşağıda gösterilmiştir.



$$\Delta G^0 = -4120 + 4,99T \text{ kal} \quad (2.4a)$$

Fırına sarj edilen demirli malzeme kok fırının en üst bölgesinde bünyelerindeki nemi atmaya başlar. Nemin atılması için gerekli olan enerji fırında oluşan yüksek fırın gazının sıcaklığı ile sağlanır. Isının gaz malzemelerin arasından geçerken sıcaklığın etkisi ile malzemelerin nemini alır.

Fırın içerisinde sıcaklığın 1000 °C'ı aştığı herhangi bir bölgede indirgenmemiş FeO var ise fırında oluşan CO₂ aşağıdaki reaksiyon ile süratle karbon tarafından indirgenir.



Bu reaksiyonlar neticesinde demirli malzemeler yumuşamaya ve sonrasında sıvı halde geçmeye başlar. Bosh bölgesine gelindiğinde ise katı olarak sadece kok kalır vema denve curuf tamamen sıvı haldedir. Sıvı haldeki maden ve curuf katı kok arasından süzülerek haznede toplanır. Curufun yoğunluğu maddeden düşük olduğu için haznede curuf yukarıda maden ise alt kısımda toplanır. Döküm deliğinden fırının dışarısına alınan maden ve curuf ana maden kanlında bulunan sifon sayesinde birbirinden ayrılır [7].

2.3.1. Ergime Sahası

Bu kısım fiziksel olarak erimenin başladığı kısımdır. Tüyerlerden üflenen sıcak hava içerisindeki oksijen kokun içerisinde bulunan karbonun tamamını yakar ve karbonmonoksit (CO₂) gazı ortaya çıkar. Oluşan CO₂ gazı biraz yukarı çıktığında tekrar kızgın kok ile karşılaşır ve kararsız bir yapıda olduğu için kokun karbonunu

olarak CO gazına dönüşür. Oluşan bu CO gazı demir oksitlerin redüklenmesini sağlar. Ergime sahasının sıcaklığı ortalama 1700 °C' dir [9].

2.3.2. Alt Bölge Reaksiyonları

Tüyer seviyesinden yukarıya doğru uzanan 3-5 metrelik kısım al bölge ve ergime bölgesidir. bu bölgede eriyik halde bulunan cüruf ve madenin sıcaklığı sıcaklığı 1400–1450 °C'ye ulaşır ve gaz sıcaklığı ise 800–1000 °C'ye kadar düşer. tüyer önünde yanan kok sürekli olarak hava boşlukları oluşturur. Oluşan bu boşluklara Raceway adı verilir. Kokun yanması sonucu boşalan hacim fırına şarj edilen malzemelerin aşağı doğru hareketini sağlar. Raceway'in geometrisi ve boyutu düzgün bir gaz dağılımı için ve şarjın düzenli yürümesi için çok önemlidir. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi yanma bölgesinin kinetik enerjisine bağlı olarak fırın içerisinde üç farklı sıcaklık bölgesi oluşur.

Bu bölgelerin ısı ihtiyacı oluşan gazın sıcaklığından sağlanır. Orta sıcaklık bölgesinde (800–1000 °C) gerçekleşen ısı transferi çok azdır ve bu bölgenin sıcaklığı hemen hemen sabittir [12].

2.3.3. Tüyer Seviyesi

Raceway derinliği 1-2 metre civarındadır. Yani tüyer önünde 1-2 metre çapında bir hava boşluğu vardır. Raceway'in önünde sıkı paket bir kok katmanı vardır. Bu kok katmanına Deadman adı verilir. Deadman fırının hazne derinliğine bağlı olarak ya tamamı ile haznedeki sıvı madenin üstünde yüzer ya da ulaşabildiği kadarı ile haznenin tabanına ulaşır. Genellikle büyük fırınlarda yüzerken küçük fırınlarda hazne tabanına oturur. Deadman içerisinde bir miktar sıvı cüruf ve maden de bulunur. Döküm deliği açıldığında bu maden ve curuf fırından tahliye edilir. Demirli malzemelerin bünyesinde bulunan demir harici minerallere gang mineralleri adı verilir. Gang mineralleri fırının bel bölgesinde ergiyerek curuf fazını oluşturur. Oluşan bu birincil curufa Bosh curufu adı verilir. Daha sonra bosh curufu tüyer önünde yanan kokun külü ile birleşerek nihai curufu oluşturur. Bu curufa da hazne curufu adı verilir. Hazne cürufunun fırının dışarısına alınabilmesi için belli bir akışkanlık seviyesinde olması

gerekir. Curufun akışkanlığı ise sıcaklığa ve cüruf kimyasına bağlıdır. Cüruf kimyasından kasit curufun baziklik oranıdır ve $(\%CaO + \%MgO)/(\%SiO_2 + \%Al_2O_3)$ şeklinde hesaplanır. Akışkan bir curufun bazitesi 0,9-1,2 arasında sıcaklığı ise 1500 – 1550 °C olmalıdır [7].

2.4. YÜKSEK FIRIN GİRDİLERİ VE ÇIKTILARI

Yüksek fırın girdileri demirli malzemeler, yakıtlar, curuf yapıcılar ve sıcak havadan oluşmaktadır. Fırında gerçekleşen termokimyasal işlemler sonrasında oluşan sıvı hamdemir, cüruf, yüksek fırın gazı ve baca tozu yüksek fırın çıktılarını oluşturmaktadır.

2.4.1. Sıvı Ham Demir

Cevher hazırlama ve sarj tesisinde elekler vasıtası ile istenilen fiziksel boyuta getirilen sinter, parça cevher, curuf yapıcılar ve kok vagonetler veya konveyör bantlar ile fırın tepesinden tepe sistemi vasıtası ile fırına sarj edilir. 1 ve 5 nolu yüksek fırında vagonet sistemi kullanılırken 4 nolu yüksek fırında konveyör bantlanmaktadır.

Körük (Blower) ile sağlanan soğuk hava sobalardan geçirilerek ısıtılır. Isınan hava tüyerlerden fırın içerisine üflenir. Sıcak hava tüyer önünde bulunan kok ile buluştuğunda kokun yanmasını sağlar ve demir oksitlerin redüklenmesini sağlayan gazı oluşturur. Oluşan bu gaz demirli malzemeler içerisinde bulunan demir oksitlerin demire indirger ve sıvı halde haznede toplanmasını sağlar. Sıvı ham demirin; demir içeriği %94-95' dir. Geriye kalan kısmın %4-4,5'i karbondur ve %1-2'lik kısım ise silis, mangan, fosfor, kükürt ve diğer metallere oluşmaktadır. Sıvı hamdemir kalitesi takip edilirken özellikle silis, mangan, kükürt ve fosfor içeriğine bakılır. Sıvı maden kükürdün maksimum maksimum %0,150 olması istenir. Sıvı hamdemirin kalitesi nihai ürün olan çelik kalitesi için çok önemlidir. Kaliteli çelik üretimi için sıvı hamdemirin belirlenen kriterlere uygun olması gerekmektedir [29,30].

Çelik üretiminde dikkat edilecek önemli hususları şöyle özetleyebiliriz;

- Sıvı hamdemir kalitesini belirlenen sınırlar içerisinde ve stabil olmalıdır.
- Sıvı hamdemir sıcaklığı ve kimyasal analizi konverter prosesi ve curuf oluşumu için uygun olmalıdır.
- Yüksek fırın prosesinde fosfora müdahale etmek mümkün değildir. Fırına giren fosforun tamamına yakını sıvı hamdemire geçmektedir. Kaliteli çelik üretimi için fosfor çok önemlidir. Bu nedenle sıvı hamdemirde fosforun kontrol edilmesi için girdi fosfor sürekli takip edilmelidir.
- Aynı şekilde Çelik kaliteleri için kükürt içeriğide çok önemlidir. Bu nedenle sıvı hamdemir kükürt miktarları ilgili proses parametrelerine müdahale edilerek istenilen sınırlar içerisinde tutulmalıdır.

2.4.2. Cüruf

Curuf, yüksek fırına şarj edilen demirli malzemeler ve yakıtlar içerisinde bulunan gang minerellerinin oluşturduğu yapıdır. Yüksek fırın prosesinin yönetilebilmesi için curuf kimyasının ve sıcaklığının yönetilmesi büyük önem arz etmektedir. Cevherden çeliğe kadar geçen süreçte üç farklı cüruf oluşmaktadır. Bunlar yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve pota cürufudur. Sıvı hamdemirin konverterde işlenmesi sırasında oluşan cürufa çelikhane cürufu adı verilir. İkincil metalürji adı verilen pota fırınlarında oluşan cürufa ise pota cürufu adı verilir [13].

Sıvı hamdemir ve çelik içerisinde istenmeyen empüriteler cürufa geçmek suretiyle bünyeden uzaklaşır. Bunun için cürufun kimyası ve sıcaklığı gibi parametreler önemlidir. Kaliteli bir çelik üretimi için kaliteli cüruf üretmek gerekmektedir.

Cürufun özkütlesi sıvıhamdemir ve çelikten düşüktür. Bu nedenle potalarda, fırında ve konverterde cüruf üst tarafta sıvı metal alt tarafta toplanır. Bu sayede curuf sıvı metalin sıcaklığını muhafaza eder ve hava ile temasını engeller. Cüruf miktarının az olması istenir. Çünkü cürufun fazla çıkması verimlilik ve yakıt oranlarının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle yüksek fırında kullanılan demirli malzemelerin demir içeriklerinin (tenör) yüksek olması istenir.

2.4.3. Yüksek Fırın Gazı

Yüksek fırın prosesi gereği gerçekleşen kimyasal ve termal reaksiyonların neticesinde oluşan gaza yüksek fırın gazı adı verilir. Yüksek fırın gazı fırın tepesinden fırını terk eder. Yüksek fırın gazı içeriği N_2 , H_2 , O_2 , CO ve CO_2 den oluşmaktadır.

CO ve H_2 içeriği nedeniyle yüksek fırın gazının kalorifik bir değeri vardır (yaklaşık olarak 750 kcal/m^3). Fırın tepesinden fırını terk eden gaz, gaz temizleme tesisinde katı partiküllerinden arındırılır ve fabrikanın muhtelif ünitelerinde yakıt olarak kullanılır. Yüksek fırın gazının kimyası fırın tepesinde bulunan anlizör marifeti ile online olarak takip edilir. Gazın kimyası yakıt verimi ve sıvı hamdemir kalitesi hakkında fikir verir [14].

2.4.4. Baca Tozu

Yüksek fırın gazı gaz temizleme tesisinde katı partiküllerinden temizlenir ve oluşan toza baca tozu adı verilir. Baca tozu içerisinde bulunan C ve Fe içeriği nedeniyle sinter tesisine gönderilir ve sinter harmanına katılır.

2.5. FIRINA ÜFLENEN HAVANIN SICAKLIK, BASINÇ VE DEBİSİ

Yüksek fırınlara üflenen havanın miktarını ve basıncını fırına ait körüğün kapasitesi ve fırının o andaki geçirgenliği belirler. Bu nedenle geçirgenlik fırın prosesi için önemli bir parametredir ve fırına şarj edilen malzemelerin fiziksel-kimyasal kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Geçirgenliğin yanında fırına verilen hava miktarı fırına hizmet eden yan tesislerinin kapasiteleri ile de sınırlıdır. Hava miktarı arttıkça üretim hızı artacaktır ve buna bağlı olarak şarj tesisi, dökümhane, torpido manipülasyonu gibi yan tesislerin işletme hızı da artmalıdır. Eğer fırın hızına yan tesisler yetişemez ise üflenen hava debisi azalacaktır ve dolayısı ile üretim düşecektir. Yine üflenen havanın miktarını ve basıncını belirleyen bir diğer etken Çelikhane temposudur. Üflenen havanın miktarı ve fırın içerisine şarj edilen malzemelerin geçirgenliğine bağlı olarak fırın basıncı değişkenlik gösterebilmektedir [29].

Çizelge 1.1. 5 nolu yüksek fırın için maksimum hava debisi, basıncı ve sıcaklığı.

	Birimi	Maksimum	Minimum
Hava Debisi	M ³ /saat	240.000	120.000
Hava Basıncı	Bar	2,8	1,00
Hava Sıcaklığı	°C	1.200	850

2.6. CÜRUF BAZİTESİ

Cüruf kimyası yüksek fırın prosesinin sağlığı için çok önemlidir. Cüruf kimyası içerisinde de curuf bazitesi yüksek fırın tarafında sürekli takip edilen bir parametredir. Curuf bazitesi içeriğinde bulunan bazik ve asidik oksitlerin birbirine oranıdır. Cüruf bazitesi iki farklı şekilde hesaplanır ve ifade edilir.

Küçük Bazite: CaO/SiO_2

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

Curuf bazitesi aynı zamanda sıvı hamdemir kalitesini de doğrudan etkileyen bir parametredir. Cürufta bazitenin artması kükürdün sıvı hamdemirden uzaklaşarak cürufa geçmesine katkı sağlar. Diğer taraftan cüruf bazitesinin artması alkalilerin cürufa geçmesini olumsuz etkiler. Yeteri kadar alkalinin curuf ile atılamaması durumunda fırın duvarlarında alkali birikmesine bağlı skafold denilen yapılar oluşur. Bu da fırın hacmini daraltır ve prosesi olumsuz etkiler. Bu sebeplerden dolayı curuf bazitesi optimum bir değerde tutulur. Bu da yaklaşık olarak 0,70-0,95 aralığındadır [30].

2.7. KARDEMİR YÜKSEK FIRINLARI

KARDEMİR A.Ş de mevcut durumda çalışan 3 adet yüksek fırın bulunmaktadır. Yüksek fırınların kapasiteleri iç hacimleri ile ifade edilmektedir. KARDEMİR A.Ş yüksek fırınların kapasiteleri sırasıyla;

- 1 YF: 580 m³
- 4 YF: 580 m³
- 5 YF: 1650 m³

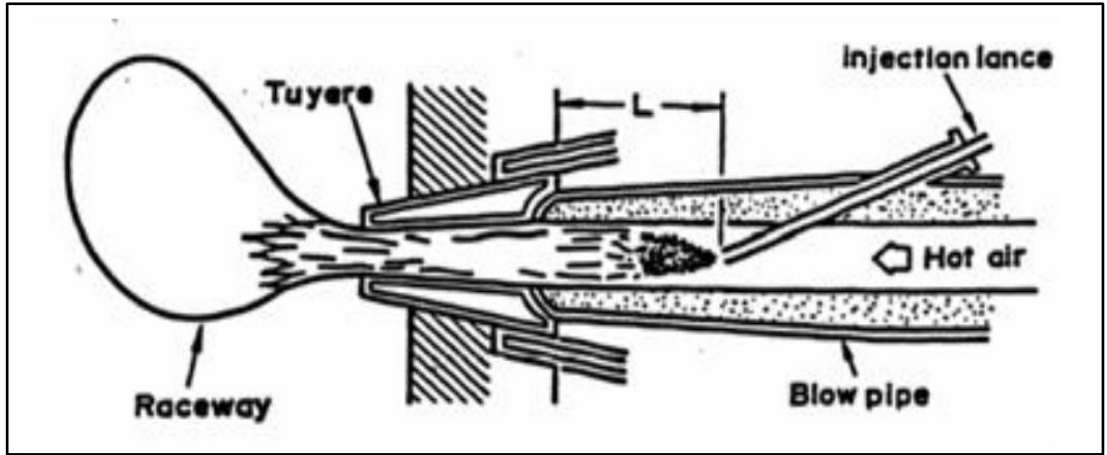
1 ve 4 nolu yüksek fırın birbirinin ikizidir ve tüyer sayıları 14 dür. Kardemir A.Ş toplam sıvı ham demir üretiminin %55'den fazlasını gerçekleştiren 5 nolu yüksek fırın ise 24 adet tüyerlidir. 5. Yüksek fırın 15.01.2015 tarihinde devreye alınmıştır. Fırın dizaynı Kardemir mühendislerine aittir. Dünya ortalamasına göre orta büyüklükte bir fırındır. Tepe sistemi, sobaları ve gaz temizleme tesisi farklı firmalardan satın alınmıştır. Şarj tesisi ve cüruf granülasyon tesisi tamamıyla Kardemir dizaynıdır. Hazne tabanından üst stack bölgesine kadar karbon bazlı refrakter kullanılmıştır. Soğutma sistemi dizaynı melezdir. Melezden kasıt soğutucu olarak hem plate hem de stave kullanılmıştır. Tüyer üzerinden üst stack bölgesine kadar plate kullanılmıştır. Toplamda 798 adet plate vardır. Üst stack ve boğaz kısmında stave kullanılmıştır. Toplamda 216 adet stave bulunmaktadır. Tepe sistemi çansız tepe sistemidir. Sobaları üstten yanmalı soba tipindedir. Gaz temizleme tesisi kuru tip gaz temizleme tesisidir. 5 nolu yüksek fırın granüle curuf sistemi için bilinen yöntemlerin dışında bir sistem geliştirilmiştir ve bu sistemin dizaynı tamamen KARDEMİR A.Ş mühendislerine aittir. Sistem granüle tankı, granüle curuf transfer hattı ve granüle curufun susuzlaştırıldığı tanklardan oluşmaktadır [26,27].

BÖLÜM 3

TÜYER

Tüyerler yüksek fırınların sıcak hava üflemeden sorumlu hassas parçaları olarak kabul edilir.

Yüksek fırında demir eldesi işlemi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptirler. Yüksek fırın prosesini gerçekleşmesi için gerekli olan sıcak hava (1000-1200 C⁰) tüyerlerden geçerek fırına üflenmektedir. Bu nedenle tüyerler yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Ayrıca tüyer gövdesinin bir kısmı fırın içerisinde olduğu için fırın içerisinde bulunan cevher-kok malzemelerinin mekanik tahribatına ve cüruf-maden eriyiklerine maruz kalmaktadır [15].



Şekil 3.1 Yüksek fırın üfleme tertibatı [8].

Tüyerleri yüksek sıcaklıktan korumak için tüyer içinde bulunan kanallarda su dolaşmaktadır. İçeride dolaşan su tüyerin maruz kaldığı ısıyı bünyesine alarak tüyeri terk etmektedir. Bu nedenle tüyer yapımında ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır tercih edilmektedir. Tüyerlerin hasar görmesine neden olan parametreler su sirkülasyon sisteminin yanlış tasarımı, düşük ısı iletkenliği, operatör sorunları vb.

olarak sıralanabilir. Tüyerin hasar görmesi durumunda değişimi için fırının duruşa alınması gerekmektedir. Bu da üretim kaybı anlamına gelmektedir. Bu nedenle tüyerler bir yüksek fırının en kritik elemanlarındanındır.

Bu nedenle tüyer ömrünü arttırmak adına birçok çalışma ve deneme gerçekleştirilmiştir ve gerçekleştirilmeye devam etmektedir [16,17].

3.1. TÜYER ÖMRÜNÜ ARTIRMAK İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tüyer ömrünü arttırmak için bir yapılan çalışmalar

- Tüyer dizaynına yönelik çalışmalar
- Tüyerlerin soğutulma verimine yönelik çalışmalar

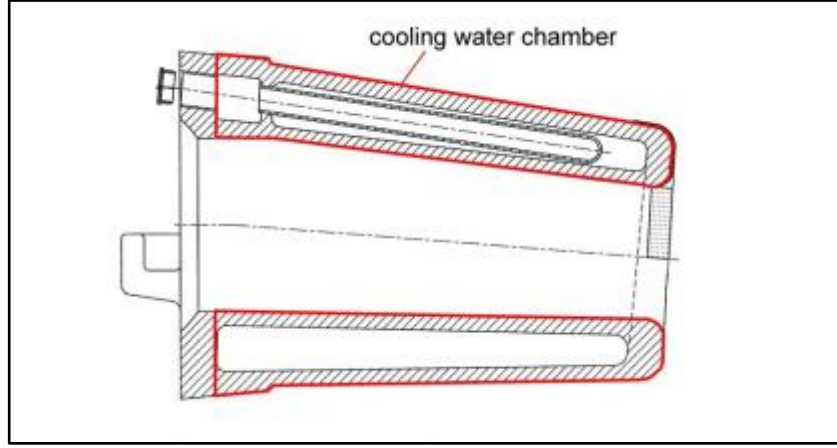
Şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1. Tüyer Ömrünü Arttırmak İçin Yapılan Farklı Tüyer Dizaynları

Tüyer ömrü tüyerin dizaynı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle tüyer ömrünü arttırmak adına yeni dizaynlar geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir.

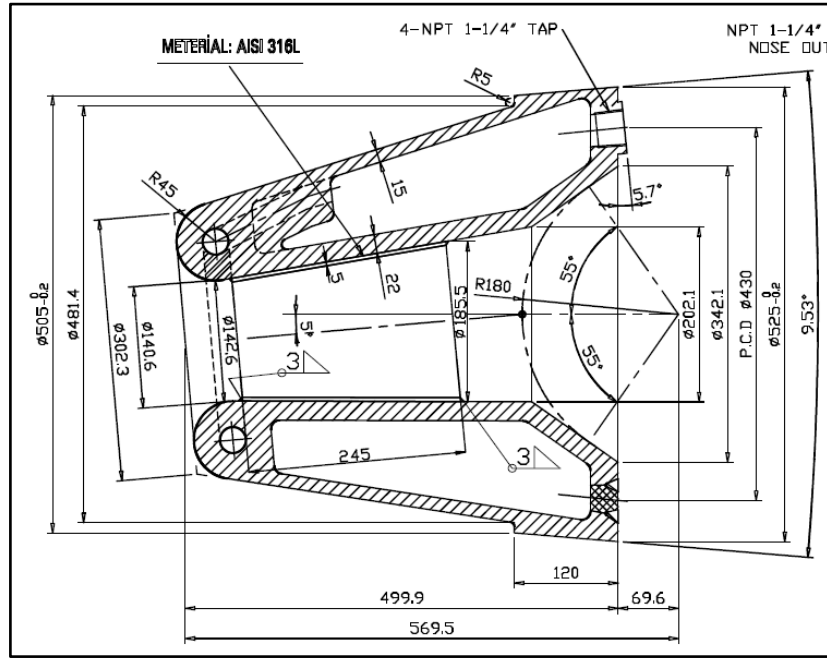
3.1.2. Tek Çevrimli Tüyer Dizaynı

Bu dizayn bilinen ilk tüyer dizaynıdır. Bu dizaynda tüyere tek bir su girişi bulunmaktadır. Tüyere tek noktadan giren su tüyer gövdesinin tamamını dolaşarak tüyeri terk etmektedir.



Şekil 3.2. Tek çevrimli tüyer şematik gösterimi [3].

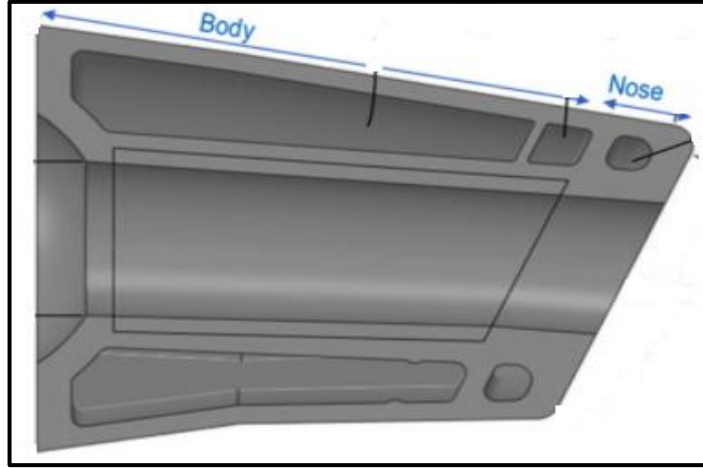
Bu dizaynda tüyer gövdesinde dolaşan su debisi tek giriş ile sınırlıdır. Bu nedenle soğutma verimi düşük kalmaktadır. Bu dizayn genellikle mini yüksek fırınlarda tercih edilmektedir. 1 ve 4 nolu yüksek fırınların dizaynı tek çevrimlidir.



Şekil 3.3. Tüyer Teknik Resmi

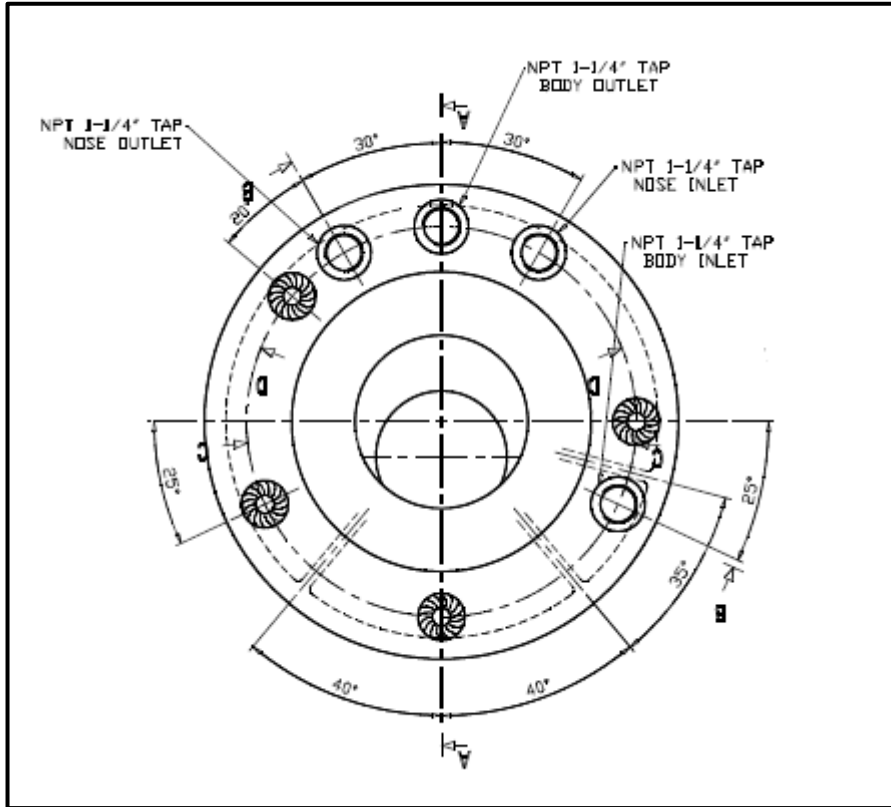
3.1.3. Çift Çemberli Tüyer Dizaynı

Bu dizaynda tüyerin burun kısmı ve gövde kısmı için ayrı ayrı su soğutma girişleri bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılan tüyer dizaynıdır.



Şekil 3.4. Çift çevrimli tüyer şematik gösterimi [4].

Bu dizaynda tüyerin burun kısmı için ve gövde kısmı için ayrı ayrı su girişleri bulunmaktadır. Bu sayede soğutma için kullanılan su debisi tek çemberli tüyerlerin yaklaşık olarak 2 katıdır. Debinin fazla olması soğutma veriminin daha iyi olacağı anlamına gelmektedir. Bu tüyer dizaynı daha çok orta ve büyük ölçekli fırınlarda tercih edilmektedir. Kardemir 5 nolu yüksek fırın tüyerleri bu dizayna sahiptir [17,18].



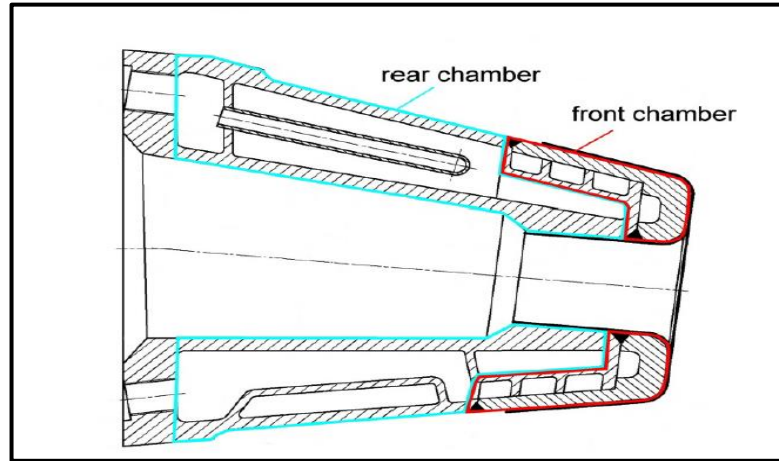
Şekil 3.5. Çift çevrimli tüyer kesit resmi [3].



Şekil 3.6. Çift çemberli tüyer.

3.1.4. Spiral Çevrimli Tüyer Dizaynı

Su çevrimi ve soğutma verimi açısından en gelişmiş tüyer dizaynıdır. Çift çemberli tüyer dizaynında olduğu gibi gövde ve burun kısmı için ayrı ayrı su girişleri mevcuttur.



Şekil 3.7 Spiral çevrimli tüyer kesit resmi [9].

Çift çevrimli tüyer dizaynına ilave olarak burun kısmında bulunan su kanalları spiral şeklindedir. Bu sayede tüyer içerisinde dolaşan su daha çok yüzey alanı ile temas etmektedir ve soğutma verimi daha iyi olmaktadır.

3.1.5. Tüyer Burunlarına Aşınmaz Dolgu Uygulamaları

Fırındaki kok kömürü, hava püskürtme tüyerlerinden giren sıcak havanın oksijeni ile birleşerek bütün karbonu yakarak karbondioksit oluşturur. Alttan yukarı yükselmeye çalışan bu (CO) karbonmonoksit gazı demir cevheri içindeki demir oksidin redüksiyonunu sağlar. Bu kısmın sıcaklığı ortalama 1700 °C' dir. Tüyerlerden fırına giren sıcak havanın karbon ile reaksiyonu sonucu açığa çıkan ısı oldukça yüksektir. Bu nedenle tüyerler ısıdan etkilenmemesi için iletkenliği yüksek ve aşınma dayanımı yüksek bir malzeme seçilerek imal edilirler Tüyerler fırın içerisinde kimyasal ve fiziksel olarak aşınmaya maruz kalmaktadır. Tüyerin burun kısmı tamamen fırın içerisinde kaldığı için fırın içerisine şarj edilen demirli malzemeler ve kokun fiziksel erozyonunun etkisi altında kalmaktadır. Bu da tüyerlerin burun kısımlarında aşınmaya neden olmaktadır. Uygulama alanları arasında yer alan yüksek sıcaklıklarda mukavemetin düşmemesi ve bu aşınmaya çözüm olması için tüyerlerin burunlarına aşınmaz dolgu kaynağı (Nikel-krom alaşımı, paslanmaz vs.) uygulanmaktadır [22,23,24].

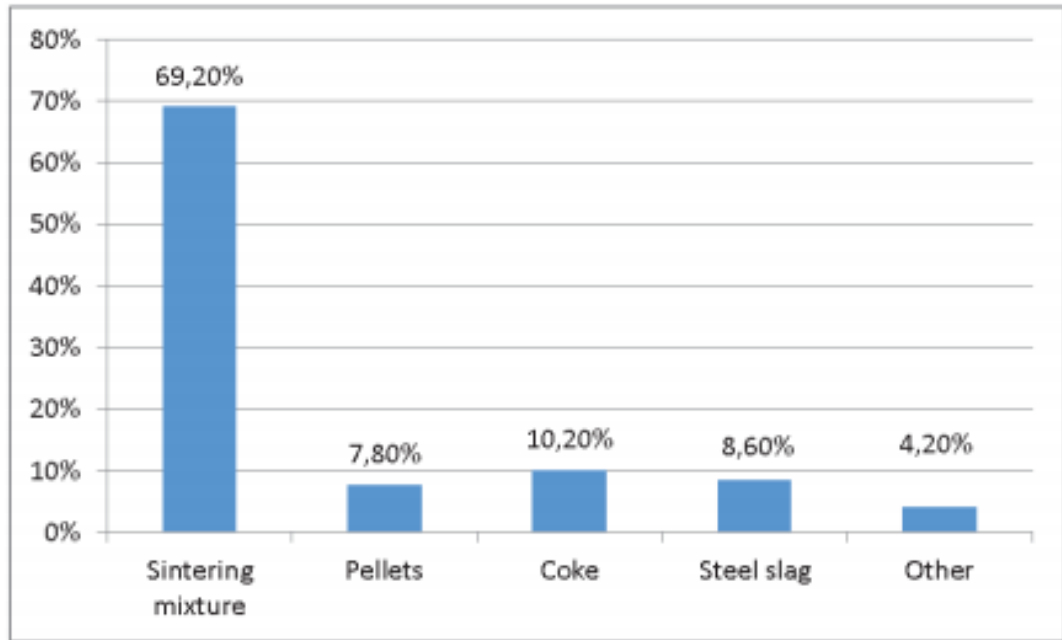


Şekil 3.8. Kaynak Dolgulu Tüyer.

Yüksek sıcaklıklarda mukavemetin düşmemesi için ve aşınma olmaması için dolgu kaynağı uygulaması yapılmaktadır.5. yüksek fırında kullanılmak üzere 24 adet tüyerin burunlarına aşınmaz dolgu kaynağı yapılmıştır. Henüz bu tüyerler denenmemiştir ancak tüyer ömrüne büyük katkı sağlaması beklenmektedir.

3.2. YÜKSEK FIRIN İÇERİSİNDE ÇİNKO ÇEVİRİMİ

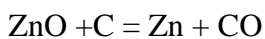
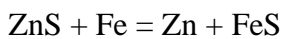
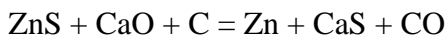
Yüksek fırınlara şarj edilen demirli malzemelerin ve kokun yapısında ZnS, ZnO, ZnCO₃, Zn₂SiO₄ gibi çeşitli çinko bileşenleri bulunmaktadır. Demirli malzemeler içerisinde çinko içeriği en fazla olan sinterdir. Yüksek fırına şarj edilen hammaddelerin içerisindeki çinkonun nereden geldiğinin dağılımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.9. Fırın içerisindeki çinkonun yaklaşık olarak hangi malzemeden kaynaklandığı.

Yüksek fırın içerisinde çinkonun ergimesi 440-900 °C de gerçekleşmektedir.

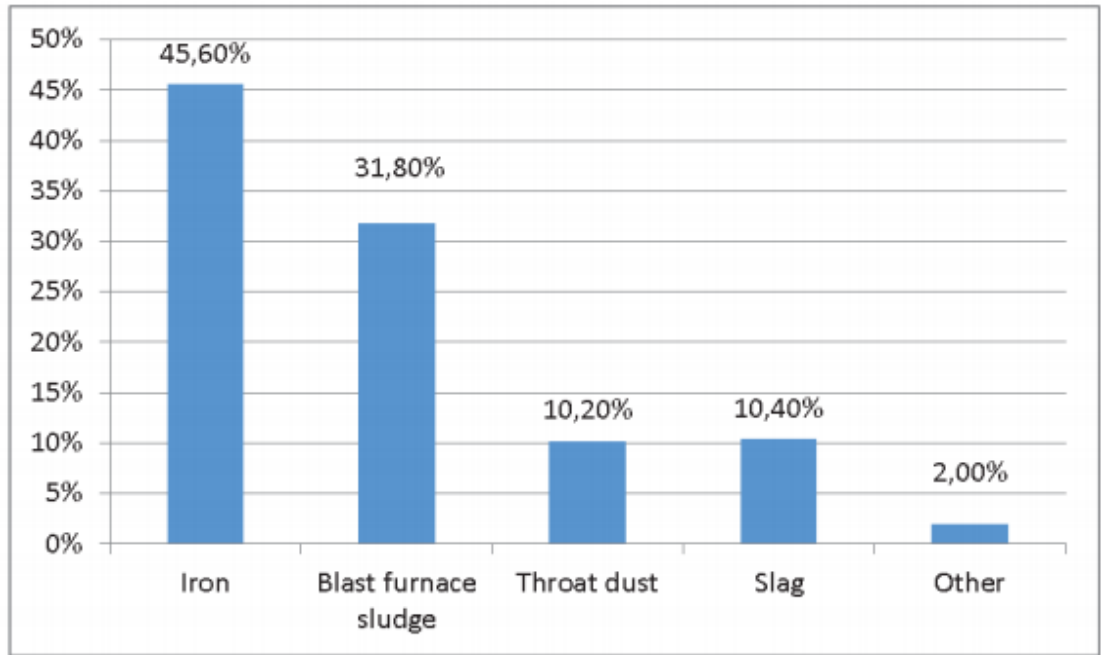
Çinkonun ergime tepkime reaksiyonları;



Görüldüğü gibi çinkonun ergime reaksiyonları aynı zamanda karbon tüketimi de yapmaktadır ve bu da yakıt oranlarını olumsuz etkilemektedir.

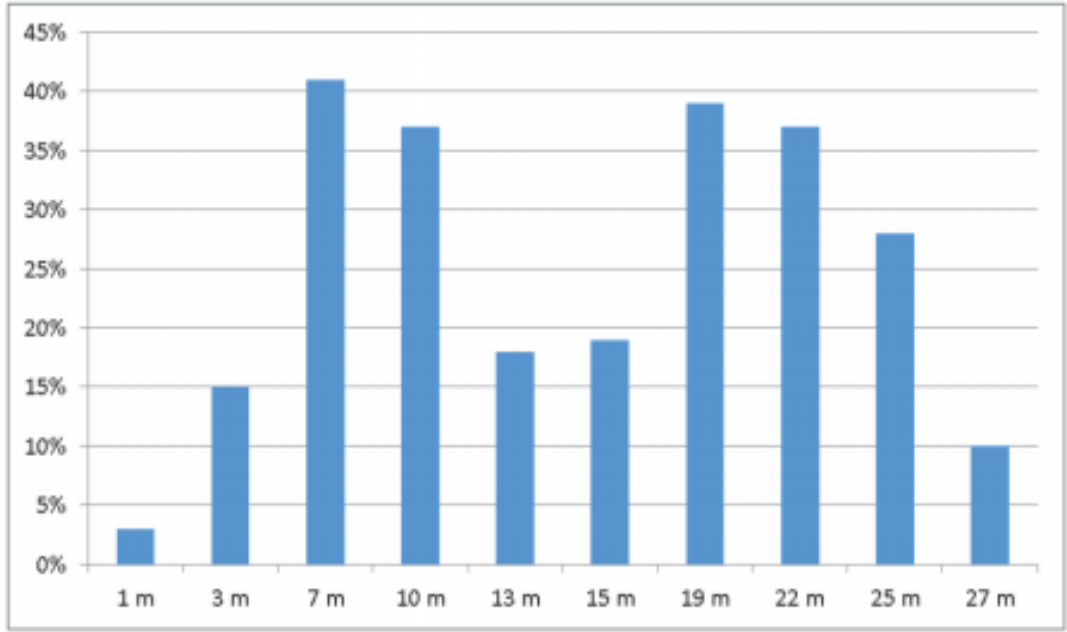
Tüyer önünde sıcaklığın yaklaşık olarak 2500 °C olduğu bölgede ergimiş çinko aniden buharlaşmaktadır ve yüksek fırın gazına karışmaktadır. Gaz içerisinde bulunan çinko fırının daha soğuk olan üst bölgelerinde tekrar katılaşmaktadır. Çinkonun büyük bir kısmı katı halde yüksek fırın gazı ile fırını terk etmektedir.

Bir miktar çinko da sıvı ham demir ve cürufa geçerek fırını terk etmektedir. Geriye kalan çinko katı halde tekrar tüyer önüne gelmektedir ve buharlaşarak gaza karışmaktadır. Bu çevrim sürekli devam etmektedir. Bu nedenle çinko girdisi ve birikimi sürekli kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.10. Yüksek fırın içerisine giren çinkonun ayrıldığı noktalar.

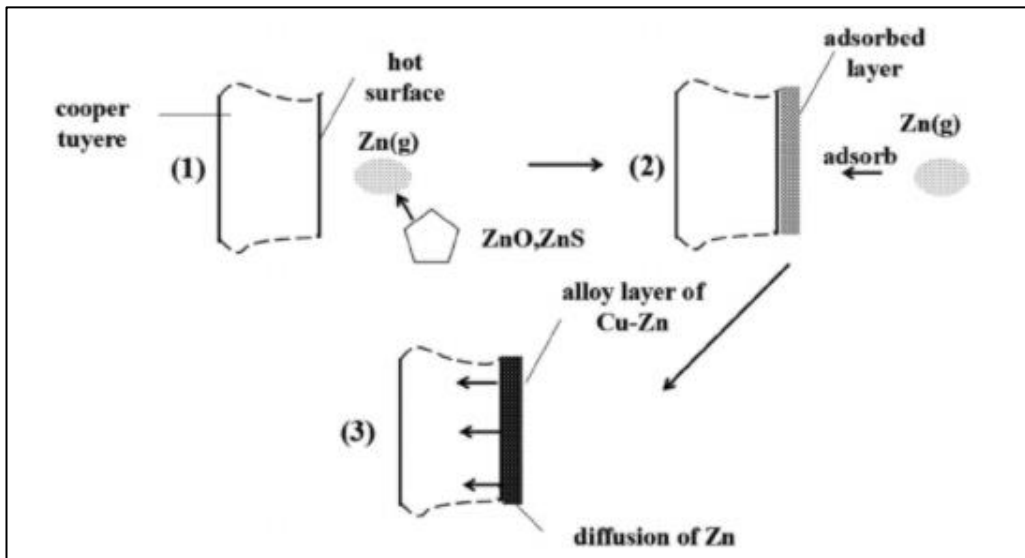
Yapılan çalışmalar neticesinde fırın içerisinde kalan çinkonun fırın refrakterine yapışıp kaldığı ve refraktere zarar verdiği tespit edilmiştir. Ömrünü tamamlayan fırınların revizyon işlemleri sırasında yapılan tespitlerde fırın içerisinde kalan çinkonun fırın kesiti boyunca dağılımı aşağıdaki gibi gerçekleştiği ortaya koyulmuştur [30].



Şekil 3.11. Fırında biriken çinkonun fırın kesiti boyunca dağılımı.

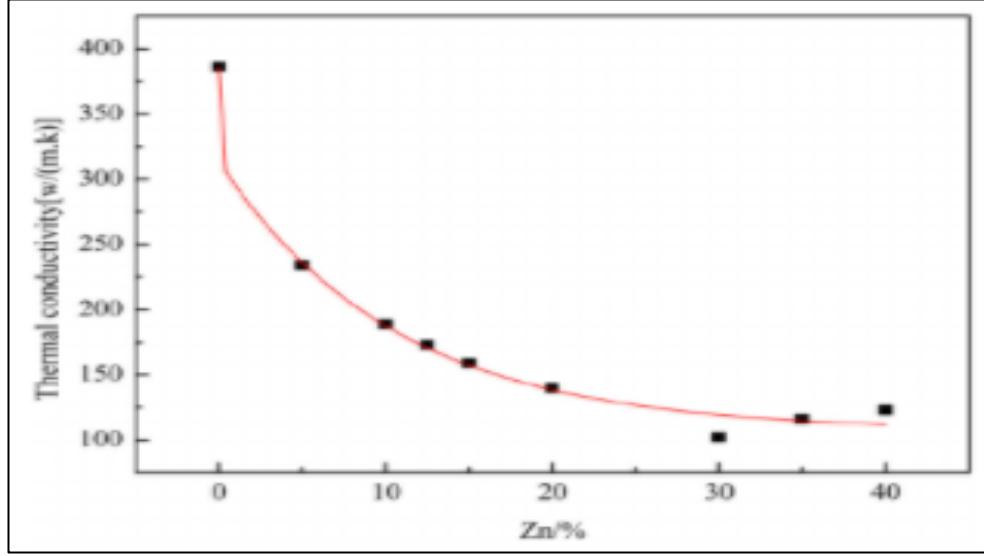
3.3. YÜKSEK FIRINLARDA ÇİNKONUN TÜYERLERE ZARAR VERME MEKANİZMASI

Bildiğimiz üzere tüyerler bakır elemanlardır ve bakır ile çinkonun alaşım yapabilme kabiliyeti yüksektir. Tüyer önünde gaz halde bulunan çinko tüyer içerisine difüze olmak sureti ile tüyerin yapısına yerleşmektedir [31].



Şekil 3.12. Çinkonun tüyer içerisine difüzyon mekanizması.

Yapılan çalışmalarda çinkonun bakır içerisinde %40 a varan oranlarda alaşım yapabildiği yönündedir ve alaşım içerisinde çinko içeriği arttıa bakırın termal iletkenliğinin azaldığı tespit edilmiştir.



şekil 3.13. Alaşım içerisinde çinko içeriğindeki miktarına bağlı iletkenlik değişimi.

Yukarıda ki izelgeten de anlaşıldığı üzere çinko miktarına bağlı olarak bakırın termal iletkenliğinin yarıdan fazla düşebildiği görülmektedir.

Bu bilgiler çerçevesinde fırın içerisinde yüksek sıcaklıkta buhar haline gelen çinko bakır tüyerlerin içerisine difüze olmaktadır. İçerisine inko difüze olan tüyerin termal iletkenliği azalmaktadır. Bunun neticesinde tüyerin soğutma verimi ve tüyerin ömrü azalmaktadır [31].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Kardemir A.Ş 5 Nolu yüksek fırın işletme sahasında 4 ayrı firmaya ait tüyer performansları incelenmiştir ve kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmaların genel takibi tüyerin fırın üzerine montajı yapıldığı andan itibaren, değişim zamanına kadar geçen sürede takibi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu süre içerisinde tüyer ömrüne etki edebilecek parametrelerin değişkenlikleri irdelenmiştir. Elde edilen bu sonuçların kıyaslaması yapılırken, aşınma kaynaklı çatlak, zaman aşımı, hücre yanıkları (1.ve 2. Soğutma Bölmeleri), tüyer delinmesi, boru çatlağı, fırın devreye alındığından itibaren üzerinde takılı olan tüyerler gibi parametler ayrı ayrı incelenmiştir. Bunun sonucunda deneysel çalışmalar bölümünde farklı firmalara ait tüyer tiplerinin yeni-deforme (yanık, zaman aşımı, delik...vb) görsellerine yer verilmiştir. 4 ayrı firmanın tüyer isimlendirilmesi A-B-C-D olarak tanımlanmıştır.

4.1. A FİRMASININ TÜYERLERİNİN İLETKENLİK İNCELEMESİ VE ÖLÇÜ KONTROLÜ

5. yüksek fırın tüyer şartnamesinde iletkenlik değerinin minimum 80 IACS olması gerektiği belirtilmiştir. Tüyerlere yapılan iletkenlik testlerinde iletkenlik değeri genel olarak 85-90 IACS bandında ölçülmüştür. Ayrıca Tüyerlere basınç testi yapılarak kaçak kontrol testlerine yapılmıştır.



Şekil 4.1. A Firması Tüyer



Şekil 4.2. A Firması Tüyer İletkenlik Testi



Şekil 4.3. A Firması Yanık Tüyer



Şekil 4.4. A Firması Zaman Aşımı.



Şekil 4.5. A Firması Arka Hücre Delik



Şekil 4.6. A Firması Zaman Aşımı.



Şekil 4.7. A Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü.

A firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü yapılmıştır ve firmaya ait 65 adet tüyer aşağıda belirtilen tarihlerde fırında kullanılmaya başlanmıştır. Aşağıda belirtilen tarihlerde çeşitli sebeplerden dolayı ömrünü tamamlayıp fırından çıkarılmıştır. 64 adet tüyerin ömür ortalaması 315 gün olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.1. A firması Tüyerleri Ömür\Gün

A FİRMASI TÜYERLERİ				A FİRMASI TÜYERLERİ			
Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)	Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)
2	7.02.2018	8.08.2018	182	22	12.01.2019	7.07.2020	542
3	8.08.2017	28.08.2018	385	1	7.07.2020	30.09.2020	85
4	15.01.2018	2.12.2018	321	6	5.09.2019	5.10.2020	396
7	8.08.2017	15.01.2018	160	7	21.08.2019	5.10.2020	411
10	15.01.2018	25.12.2018	344	2	24.07.2019	5.10.2020	439
14	11.10.2018	2.12.2018	52	8	24.04.2020	5.10.2020	164
17	11.07.2017	21.04.2018	284	15	11.02.2019	5.10.2020	602
23	15.01.2018	21.04.2018	96	20	11.02.2019	5.10.2020	602
7	15.01.2018	11.02.2019	392	9	1.04.2020	4.11.2020	217
15	3.04.2018	11.02.2019	314	21	21.08.2019	4.11.2020	441
21	3.04.2018	8.04.2019	370	23	23.12.2019	4.11.2020	317
16	21.04.2018	6.05.2019	380	14	27.02.2020	10.12.2020	287
21	8.04.2019	21.08.2019	135	5	5.02.2020	16.12.2020	315
7	11.02.2019	21.08.2019	191	16	12.05.2020	16.12.2020	218
14	25.12.2018	5.09.2019	254	17	7.07.2020	18.01.2021	195
24	25.12.2018	5.09.2019	254	24	29.02.2020	4.03.2021	369
23	15.06.2019	23.12.2019	191	12	12.05.2020	4.03.2021	296
24	5.09.2019	23.12.2019	109	4	5.02.2020	22.03.2021	411
4	2.12.2018	5.02.2020	430	3	23.12.2019	26.05.2021	520
17	2.12.2018	5.02.2020	430	11	23.12.2019	26.05.2021	520
5	8.04.2019	5.02.2020	303	19	23.12.2019	26.05.2021	520
8	11.02.2019	27.02.2020	381	13	30.05.2020	16.06.2021	382
14	5.09.2019	27.02.2020	175	9	17.04.2021	5.07.2021	79
9	8.04.2019	1.04.2020	359	9	7.07.2021	17.08.2021	41
8	27.02.2020	24.04.2020	57	10	24.04.2020	22.09.2021	516
10	25.12.2018	24.04.2020	486	18	12.05.2020	22.09.2021	498
16	6.05.2019	12.05.2020	372	7	17.08.2021	25.10.2021	69
12	25.12.2018	12.05.2020	504	2	7.08.2021	30.12.2021	145
18	25.12.2018	12.05.2020	504	9	17.08.2021	24.02.2022	191
13	12.01.2019	30.05.2020	504	10	4.10.2021	24.02.2022	143
17	5.02.2020	7.07.2020	153	17	4.10.2021	28.06.2022	267
1	8.04.2019	7.07.2020	456	13	16.06.2021	15.08.2022	425

4.2. B FİRMASININ TÜYERLERİNİN İLETKENLİK İNCELEMESİ

5. yüksek fırın tüyer şartnamesinde iletkenlik değerinin minimum 80 IACS olması gerektiği belirtilmiştir. Tüyere yapılan iletkenlik testlerinde iletkenlik değeri genel olarak 85-95 IACS bandında olmakla birlikte bazı tüyerlerin bazı lokal noktalarında 60-65 IACS değerleri de görülmüştür. Bu noktalar ihmal edilebilecek seviyededir. Basınç testi yapılarak kaçak kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 4.8. B Firması Tüyer



Şekil 4.9. B Firması Tüyer İletkenlik Testi.



Şekil 4.10. B Firması Yanık Tüyer



Şekil 4.11. B Firması Zaman Aşımı



Şekil 4.12. B Firması Arka Hücre Delik.



Şekil 4.13. B Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü.

B firmasına ait 106 adet tüyer aşağıda belirtilen tarihlerde fırında kullanılmaya başlanmıştır ve yine aşağıda belirtilen tarihlerde çeşitli sebeplerden dolayı ömrünü tamamlayıp fırından çıkarılmıştır.

Çizelge 4.2. B firması Tüyerleri Ömür\Gün.

B FİRMASI TÜYERLERİ				B FİRMASI TÜYERLERİ			
Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)	Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)
1	14.01.2015	4.06.2016	507	19	14.01.2015	5.06.2016	508
1	4.06.2016	12.09.2017	465	19	5.06.2016	15.05.2017	344
1	12.09.2017	2.04.2018	202	19	15.05.2017	17.09.2018	490
2	14.01.2015	9.11.2016	665	20	14.01.2015	7.09.2016	602
2	9.11.2016	7.02.2018	455	20	7.09.2016	12.09.2017	370
3	14.01.2015	27.02.2017	775	20	12.09.2017	21.04.2018	221
3	27.02.2017	8.08.2017	162	21	14.01.2015	27.02.2017	775
4	14.01.2015	7.12.2016	693	21	27.02.2017	27.11.2017	273
4	7.12.2016	25.09.2017	292	21	27.11.2017	3.04.2018	127
4	25.09.2017	15.01.2018	112	22	14.01.2015	11.10.2016	636
5	14.01.2015	12.04.2016	454	22	11.10.2016	10.01.2017	91
5	12.04.2016	12.04.2017	365	22	10.01.2017	15.05.2017	125
5	12.04.2017	19.06.2018	433	23	14.01.2015	11.10.2016	636
6	14.01.2015	7.12.2016	693	23	11.10.2016	19.05.2017	220
6	7.12.2016	11.06.2017	186	23	19.05.2017	7.09.2017	111
6	11.06.2017	11.07.2018	395	23	7.09.2017	15.01.2018	130
7	14.01.2015	15.11.2016	671	24	15.01.2015	14.10.2016	638
7	15.11.2016	8.08.2017	266	24	14.10.2016	7.02.2018	481
8	14.01.2015	2.06.2016	505	13	26.11.2017	12.01.2019	412
8	2.06.2016	25.09.2017	480	22	26.11.2017	12.01.2019	412
8	25.09.2017	21.04.2018	208	20	21.04.2018	11.02.2019	296
9	14.01.2015	7.04.2015	83	5	19.06.2018	8.04.2019	293

9	7.04.2015	28.04.2015	21	9	7.05.2018	8.04.2019	336
9	28.04.2015	15.04.2017	718	8	17.09.2018	6.05.2019	231
9	15.04.2017	7.05.2018	387	2	8.08.2018	24.07.2019	350
10	14.01.2015	4.06.2016	507	6	11.07.2018	5.09.2019	421
10	4.06.2016	4.10.2016	122	3	28.08.2018	23.12.2019	482
10	4.10.2016	15.01.2018	468	11	17.09.2018	23.12.2019	462
11	14.01.2015	22.08.2016	586	19	17.09.2018	23.12.2019	462
11	22.08.2016	14.10.2016	53	9	4.11.2020	19.01.2021	76
11	14.10.2016	8.08.2017	298	6	5.10.2020	22.02.2021	140
12	14.01.2015	7.12.2016	693	9	19.01.2021	17.04.2021	88
12	7.12.2016	24.11.2017	352	24	4.03.2021	17.04.2021	44
12	24.11.2017	25.12.2018	396	6	22.03.2021	18.05.2021	57
13	14.01.2015	27.02.2017	775	23	4.11.2020	18.05.2021	195
13	27.02.2017	26.11.2017	272	5	16.12.2020	16.06.2021	182
14	14.01.2015	10.01.2017	727	16	16.12.2020	16.06.2021	182
14	10.01.2017	11.06.2017	152	7	5.10.2020	17.08.2021	316
14	11.06.2017	23.10.2017	134	5	16.06.2021	22.09.2021	98
14	23.10.2017	11.10.2018	353	17	18.01.2021	4.10.2021	259
14	2.12.2018	25.12.2018	23	1	30.09.2020	25.10.2021	390
15	14.01.2015	27.02.2017	775	4	22.03.2021	25.10.2021	217
15	27.02.2017	8.08.2017	162	11	26.05.2021	25.10.2021	152
15	8.08.2017	3.04.2018	238	19	26.05.2021	15.11.2021	173
16	14.01.2015	7.12.2016	693	21	4.11.2020	15.11.2021	376
16	7.12.2016	25.09.2017	292	3	26.05.2021	1.12.2021	189
16	25.09.2017	21.04.2018	208	14	10.12.2020	2.12.2021	357
17	14.01.2015	7.09.2016	602	16	16.06.2021	30.12.2021	197
17	7.09.2016	11.07.2017	307	24	17.04.2021	30.12.2021	257
17	21.04.2018	2.12.2018	225	12	4.03.2021	12.04.2022	404
18	14.01.2015	12.04.2016	454	23	18.05.2021	12.04.2022	329
18	12.04.2016	19.10.2017	555	6	18.05.2021	27.07.2022	435
18	19.10.2017	25.12.2018	432	4	25.10.2021	5.09.2022	315

B firmasına ait 64 adet tüyerin ömür ortalaması 352 gün olarak gerçekleşmiştir.

4.3. C FİRMASININ TÜYERLERİNİN İLETKENLİK İNCELEMESİ

5. yüksek fırın tüyer şartnamesinde iletkenlik değerinin minimum 80 IACS olması gerektiği belirtilmiştir. Tüyerlere yapılan iletkenlik testlerinde iletkenlik değeri genel olarak 85-95 IACS bandında olarak ölçülmüştür. Basınç testi yapılarak kaçak kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 4.14. C Firması Tüyer.



Şekil 4.15. C Firması Tüyer İletkenlik Testi.



Şekil 4.16. C Firması Yanık Tüyer.



Şekil 4.17. C Firması Zaman Aşımı.



Şekil 4.18. C Firması Arka Hücre Delik.



Şekil 4.19. C Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü

C firmasına ait 65 adet tüyer aşağıda belirtilen tarihlerde fırında kullanılmaya başlanmıştır ve yine aşağıda belirtilen tarihlerde çeşitli sebeplerden dolayı ömrünü tamamlayıp fırından çıkarılmıştır.

Çizelge 4.3. C firması Tüyerleri Ömür\Gün.

C FİRMASI TÜYERLERİ				C FİRMASI TÜYERLERİ			
Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)	Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)
2	5.10.2020	7.08.2021	306	1	30.09.2022	23.11.2022	54
8	5.10.2020	25.10.2021	385	4	20.09.2022	23.11.2022	64
15	5.10.2020	24.02.2022	507	8	15.08.2022	23.11.2022	100
20	5.10.2020	24.02.2022	507	24	25.09.2022	23.11.2022	59
4	5.09.2022	20.09.2022	15	19	23.11.2022	24.11.2022	1
16	5.09.2022	20.09.2022	15	2	16.12.2022	18.12.2022	2
24	5.09.2022	25.09.2022	20	16	20.09.2022	31.12.2022	102
10	6.10.2022	15.10.2022	9	23	5.09.2022	31.12.2022	117
21	30.09.2022	19.10.2022	19	8	23.11.2022	17.02.2023	86

C firmasına ait 18 adet tüyerin ömür ortalaması 131 gün olarak gerçekleşmiştir.

4.4. D FİRMASININ TÜYERLERİNİN İLETKENLİK İNCELEMESİ

5. yüksek fırın tüyer şartnamesinde iletkenlik değerin minimum 80 IACS olması gerektiği belirtilmiştir. Tüyerlere yapılan iletkenlik testlerinde iletkenlik değeri genel olarak 75-85 IACS ölçülmüştür. Tüyerlerin iletkenlikleri uygundur. Basınç testi yapılarak kaçak kontrollerine bakılmıştır.



Şekil 4.20 D Firması Tüyer



Şekil 4.21 D Firması İletkenlik Testi



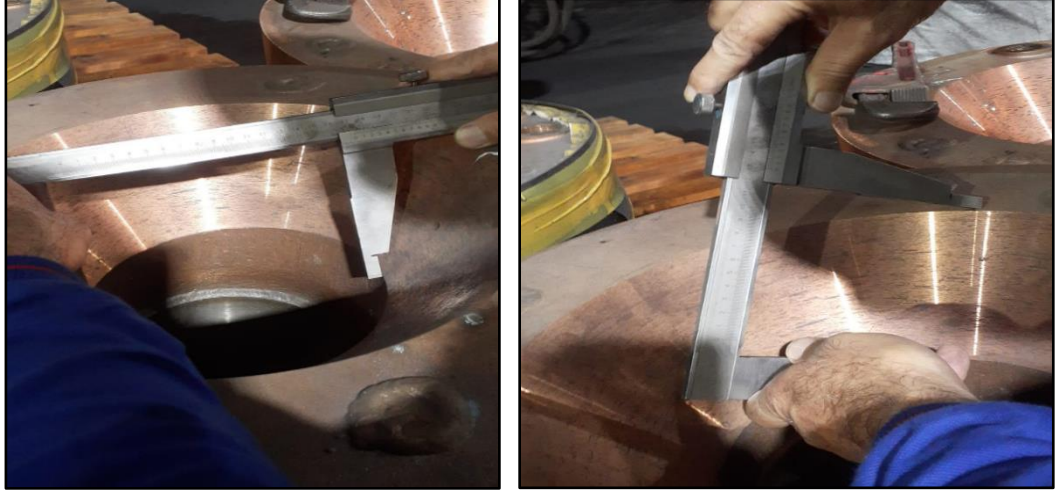
Şekil 4.22 D Firması Yanık Tüyer



Şekil 4.23 D Firması Zaman Aşımı



Şekil 4.24. D Firması Arka Hücre Yanık.



Şekil 4.25. D Firmasına ait tüyerlerine Teknik resime göre ölçü kontrolü

D firmasına ait 22 adet tüyer aşağıda belirtilen tarihlerde fırında kullanılmaya başlanmıştır ve yine aşağıda belirtilen tarihlerde çeşitli sebeplerden dolayı ömrünü tamamlayıp fırından çıkarılmıştır.

Çizelge 4.4. D firması Tüyerleri Ömür\Gün.

D FİRMASI TÜYERLERİ				D FİRMASI TÜYERLERİ			
Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)	Tüyer No	Devreye Alma Tarihi	Değişim tarihi	Ömür (gün)
8	21.04.2018	17.09.2018	149	22	27.07.2022	5.09.2022	40
24	7.02.2018	25.12.2018	321	23	12.04.2022	5.09.2022	146
1	3.04.2018	8.04.2019	370	24	30.12.2021	5.09.2022	249
23	21.04.2018	15.06.2019	420	21	15.11.2021	30.09.2022	319
18	8.01.2022	28.06.2022	171	10	24.02.2022	6.10.2022	224
19	15.11.2021	28.06.2022	225	9	24.02.2022	23.11.2022	272
14	2.12.2021	27.07.2022	237	17	28.06.2022	23.11.2022	148
22	1.12.2021	27.07.2022	238	19	28.06.2022	23.11.2022	148
8	18.05.2022	15.08.2022	89	2	30.12.2021	16.12.2022	351
3	1.12.2021	5.09.2022	278	5	27.07.2022	13.02.2023	201
16	30.12.2021	5.09.2022	249	7	28.06.2022	13.02.2023	230

D firmasına ait 22 adet tüyerin ömür ortalaması 230 gün olarak gerçekleşmiştir.

BÖLÜM 5

BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tüyerler yüksek fırınların sıcak hava üflemekten sorumlu hassas parçaları olarak kabul edilir.

Yüksek fırında demir eritme işlemi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptirler. Yüksek fırın prosesini gerçekleşmesi için gerekli olan sıcak hava (1000-1200 C⁰) tüyerlerden geçerek fırına üflenmektedir.

Tüyerler bir yüksek fırın için hayati parçalardır çünkü tüyer değişimi için fırının durması gerekmektedir. Bu da üretim kaybı anlamına gelmektedir.

Bu noktadan hareketle tüyer ömrü yüksek fırın için önemli bir parametredir. Tüyer ömrüne etki eden parametreleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Tüyer dizaynı
- Tüyer iletkenliği
- Tüyer et kalınlığı
- Tüyerde kullanılan soğutma suyunun sıcaklığı ve basıncı
- Yüksek fırın çinko girdisi
- Yüksek fırına üflenen havanın sıcaklığı

Bunların yanında haznede curuf maden seviyesinin yükselmesi ve tüyerlere zarar vermesi olası bir durum olmakla birlikte çok nadir yaşanana bir hadisedir. Çizelgelarda ömrü çok kısa olan tüyerlerin başına çok kuvvetli ihtimal bu hadise gelmiştir.

Tüyerlerin yüksek sıcaklıklarda çalışmasından dolayı, tüyer gövdesinin bir kısmı fırın içerisinde olduğu için fırın içerisinde bulunan cevher-kok malzemelerinin mekanik

tahribatına ve cüruf-maden eriyiklerine maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu tüyerlerin performansını doğrudan etkilediği görülmüştür.

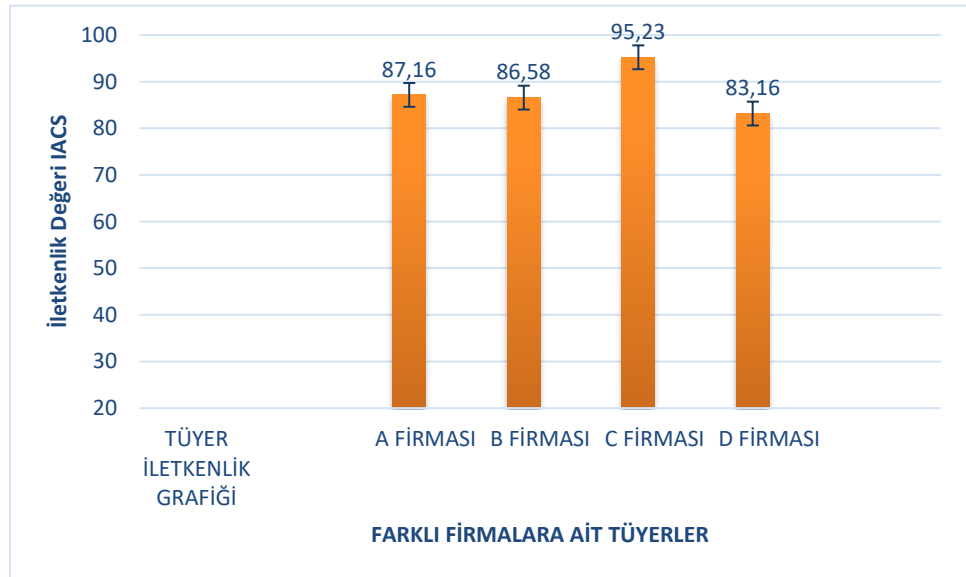
Fırın duruşu olmadan tüyer değişimi yapılamıyor olması tüyer ömrünü uzatılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

4 farklı firmanın tüyer performansı incelendiğinde iletkenlik ve tüyer ömrü ilişkisi aşağıdaki Çizelgedeki gibi çıkmıştır.

Çizelge 5.1. Tüyer İletkenlik Ve Tüyer Ömrü.

FİRMA ADI	İLETKENLİK(IACS)	ÖMÜR ORTALAMASI(Gün)
A	85-90	315
B	85-95	352
C	85-95	131
D	75-85	230

Aşağıda verilen şekilde ise tüyer performanslarına incelenmesi sonucu iletkenlik grafiği verilmiştir.



Şekil 5.1. Tüyer İletkenlik Grafiği.

Tüyer iletkenliği en düşük olan D firması olmasına rağmen ömür performansı en düşük firma C firması olmuştur.

Bu noktada iletkenlik parametresi dışında tüyer ömrünü etkileyen diğer parametreler incelenmiştir. Bu parametreler;

- Soğutma suyu basıncı ve sıcaklığı
- Tüyer et kalınlığı
- Yüksek fırın çinko girdisi
- Yüksek fırın üfleme sıcaklığı

Olarak incelenmiştir. Farklı firma tüyerlerinin kullandığı dönemlerde yukarıdaki parametreler incelendiğinde aşağıdaki Çizelge ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.2. Firmalara göre Tüyer Performans Parametreleri.

FİRMA ADI	Soğutma Suyu Basıncı (bar)	Soğutma Suyu Sıcaklığı(°C)	Çinko Girdisi (gr/SHD)	Üflen Hava Sıcaklığı (°C)	Tüyer Et Kalınlığı (mm)	ÖMÜR ORTALAMASI (Gün)
A	5,4	21,4	250	1035	150	315
B	5,35	22	230	1043	150	352
C	5,38	21,13	350	1032	150	131
D	5,34	20,85	290	1037	150	230

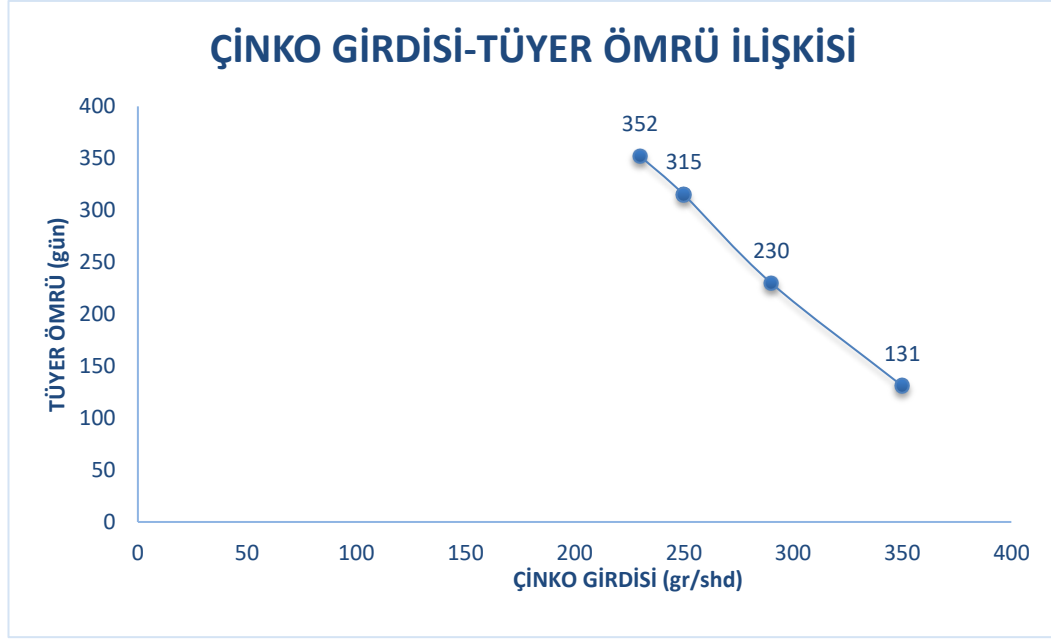
C firmasına ait olan tüyerlerin ömürlerinin diğer firmalara göre çok düşük olması nedeniyle et kalınlığı anlamında bir imalat hatası olabileceği hususu ele alınmıştır. Bunun üzerine C firmasına ait bir tüyer kesme tezgâhı olan bir firmaya yollanmıştır ve tüyerden kesit alınmıştır.



Şekil 5.2. Kontrollü Tüyer Kesimi ve Kesit Görünümü.

Kesilen tüyerin et kalınlığına bakıldığında şartnamede istenilen 150 mm kalınlığa sahip olduğu görülmüştür. Böylelikle ömür belirleyen parametrelerden biri olan et kalınlığında da bir problem olmadığı görülmüştür.

Şekil-6.2’de görüldüğü gibi farklı firmaların farklı dönemlerde kullanıldığı zaman dilimlerinde tüyer performansını etkileyebilecek parametrelerden soğutma suyu basıncı ve sıcaklığı, üflenen hava sıcaklığı, tüyer et kalınlığı parametreleri birbirine çok yakın iken çinko girdisinde marjinal farklar gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.3. Tüyer Ömrü.

Yukarıdaki şekilde çinko girdisi ve tüyer ömrü ilişkisi görülmektedir. C firmasının kullanıldığı dönemde çinko girdisi çok yüksektir ve ömür performansı en düşük firma C firmasıdır. Bu nedenle tüyer ömürlerinde belirleyici olarak çinko girdisinin öne çıktığı anlaşılmıştır.

Yüksek fırınların çinko girdisinin tamamı hammadde kaynaklıdır. Çinko yüksek fırının alt kısımlarında yüksek sıcaklıkta gaz fazına geçmektedir. Fırın üst bölgelerinde sıcaklığın düşmesi ile birlikte tekrar katı faza geçmekte ve fırın duvarlarına yapışıp refrakterin bozulmasına neden olmaktadır.

Bunun yanında tüyerler bakır elemanlar olduğu için çinko ile bakırın alaşım yapabilme kabiliyeti nedeniyle çinko tüyer ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle çinko girdisi sıkı takip edilen bir parametredir ve sürekli kontrol altında tutulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. BILGIÇ, M. 2001. Magnezya'nın ve Çelik Yapım Refrakterlerinin Geleceğine Kısa Bir Bakış. TMMOB Metalurji Dergisi, (127), 43-48s.
2. HEPSEN, A. 2001. Yüksek Fırınlarda Dökümhane Kanallarında Çimentosuz Refrakter Kullanımı. 1. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, Kdz. Ereğli, Zonguldak.
3. Jaz, J., "Opereation data of sinter plants and blast furnace", *European Blast Furnace Committe*, Düsseldorf, Germany 20-30 (2005).
4. Doğar M. T., "İskenderun Demir Çelik Fabrikası A.Ş. de kalite kontrol uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 7-16 (2008).
5. YEPREM, A.H., 2003. Yerli Boksitlerin Dökülebilir Refrakterlerde Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması. Metalurji Dergisi, (135).
6. ALTUN, A., KÖKSAL, N.S., TOPARLI, M. 2004. Mechanical Properties Magnesia and Magnesia-Chromite Refractory Materials. Key Engineering Materials, Vol. 264- 268, 1779-1782p.
7. International Journal of Engineering and Management Research, Volume-7, Issue-3, May-June 2017 Page Number: 252-258
8. Investigations of measures for extension of BF tuyere life time (EXTUL)
9. STEEL RESEARCH international-Impact of Flow Boiling on Blast Furnace Tuyere Life: A Designer's Perspective
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/](http://celik.org.tr/category/basinda-tcud/) (2022).
12. Şahin, E., " Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Çekme Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi/Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2018).

13. Düzyol, S. "Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Kullanılarak Karadon (Zonguldak) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu Davranışının İncelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2 (31), 77-84. (2016).
14. Önal, Ş., "Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Problemünde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu", *Ankara Bilim Üniversitesi*, 1 (01): 48-56 (2021).
15. İnternet: Mühendis ve Makine, "Karabük Demir Çelik Fabrikaları", https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/12d2b1c7b2826ca_ek.pdf, 55-56 (2019).
16. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, "Demir Çelik Sektör Raporu", *SATSA*, 8,9 (2020).
17. Geerdes, M., Chaigneau, R., Kurunov, I., "Modern Blast Furnace Iron Making an Introduction", *Netherlands*, 1-12, 43-57, 100-105, 58-65 (2015).
18. Yıldız, N., "Demir Cevherinin Peletlenmesi", *Madencilik*, 29 (1):18 (1990).
19. Yapı Malzemesi Ders Notları, Yrd. Doç.Dr. Osman Ünal.
20. Boztepe,1994.
21. <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-demircelikuretimisunu2.pdf>
22. Yeniçeri M.,(1991), Demir-Çelik Madenciliğın El Kitabı, Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları,Türkiye,
23. Gül Başak, *Demir Dışı Metallerin Kaynak Metalurjisi*,
24. <https://www.steel-data.com/post/155/2021de-dunya-celik-uretimi-37-artisla>
25. Modern Blast Furnace Iron Making kitabı
26. Özgen, O., "Yüksek Fırın Prosesi", *Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Eğitim Müdürlüğü Yayınları*, *Ereğli*, 1-14, 433-445 (1991).
27. Yeniçeri, M., "Yüksek Fırın İşletmeciliğında Demir Cevheri", *Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları*, Ankara, 2-66 (1993).
28. İnternet: Mühendis ve Makine "Karabük Demir Çelik Fabrikaları". https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/12d2b1c7b2826ca_ek.pdf, 55-56 (2019)
29. "Demir Çelik Sektöründe Taguchi Destekli Yapay Sinir Ağı Modeli İle Sıvı Ham Demir Kükürt İçeriği Tahmini", Münire HEKİM,2022

30. THE IMPACT OF ZINC COMPOUNDS ON BLAST FURNACE LINING LIFE BESTA Petr, SIKOROVÁ Andrea, KUBICA Stanislav, VILAMOVÁ Šárka, PROSICKÝ Petr VSB - Technical University of Ostrava, Ostrava, Czech Republic, EU, petr.best@vsb.cz
31. Haiyang Wang, Jianliang Zhang, Zhengjian Liu, Guangwei Wang, Kexin Jiao, Dongdong Liu, Xiaoying Yan & Tianjun Yang (2017): Damage mechanism of blast furnace tuyere by zinc, Ironmaking & Steelmaking,

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin AYHAN Liseden mezun olduktan sonra 2004 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandı. 2009 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra askerlik hizmetini kısa dönem olarak tamamladı. 2011 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak iş hayatına atıldı. 2022 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.