

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRINLARDA BAKIR PANEL SOĞUTUCULARIN ERKEN AŞINMASINI
ÖNLEYİCİ YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

DOKTORA TEZİ

MUSTAFA ESMER

NİSAN 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRINLARDA BAKIR PANEL SOĞUTUCULARIN ERKEN AŞINMASINI
ÖNLEYİCİ YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

DOKTORA TEZİ

Mustafa ESMER

DANIŞMAN: Doç. Dr. Hamdi Alper ÖZYİĞİT

ZONGULDAK

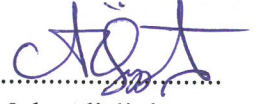
Nisan 2017

KABUL:

Mustafa ESMER tarafından hazırlanan “Yüksek Fırınlarda Bakır Panel Soğutucuların Erken Aşınmasını Önleyici Yeni Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi” Başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 11/04/2017

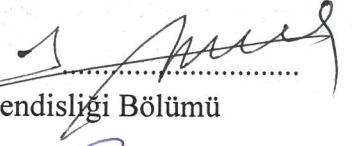
Danışman: Doç. Dr. Hamdi Alper ÖZYİĞİT

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü



İkinci Danışman: Prof. Dr. Vahdet UÇAR

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



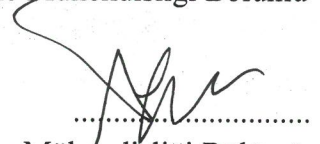
Üye: Prof. Dr. Bülent EKMEKÇİ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



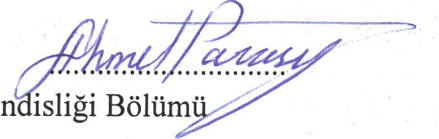
Üye: Doç. Dr. Adnan TOPUZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Sunal Ahmet PARASIZ

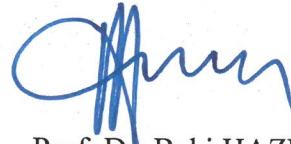
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

.../.../20....



Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri 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.”



Mustafa ESMER

ÖZET

Doktora Tezi

YÜKSEK FIRINLARDA BAKIR PANEL SOĞUTUCULARIN ERKEN AŞINMASINI ÖNLEYİCİ YENİ TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa ESMER

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. H. Alper ÖZYİĞİT

İkinci Danışman: Prof. Dr. Vahdet UÇAR

Nisan 2017, 139 sayfa

Bu doktora tez çalışmasında yüksek fırınlarda tasarım ve operasyon parametrelerinin erken aşınmaya etkileri istatistiksel yaklaşımla incelenmiş ve bu aşınma probleminin önüne geçilebilmesi için yüksek fırın tasarımında kullanılacak yeni bir öneri geliştirilmiştir. Yüksek fırınların iç duvarlarında yer alan bakır panel soğutucuların yıllara göre aşınma ihtimalini tahmin eden bir aşınma ömür modeli oluşturularak farklı üretim kapasitelerine sahip yüksek fırın geometrileri önerilmiştir.

Yüksek fırın tasarım ve operasyon parametrelerinin erken aşınmaya etkilerinin incelenmesinde Dünya Çelik Birliği'nden temin edilen 34 adet fırına ait tasarım ve operasyon bilgileri kullanılmıştır. Her bir parametrenin erken aşınma üzerine etkisi, lojistik regresyon istatistiksel analiz metoduyla değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda yüksek etkiye sahip değişkenler belirlenmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Bakır soğutma panellerinde meydana gelebilecek erken aşınmayı önlemek için bu çalışmada önerilen modelin güvenilirliği, dünyada halen faal olan 34 adet yüksek fırın verileri ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Sonuçlar, bu yeni yaklaşımın bakır panel soğutucuların erken aşınması probleminin çözümüne katkı sağlayacağını ortaya koymuştur.

Verileri incelenen yüksek fırınların risk faktörleri, yeni aşınma modeline göre ayrı ayrı hesaplanmış ve fırınlar yıllara bağlı aşınma durumuna göre kategorize edilmiştir. Son olarak, bakır panel soğutucuların 3 ile 10 yıl arasındaki zaman diliminde her yıl için aşınma ihtimali hesaplanmıştır.

Öncelikle 10 yıllık süre diliminde, erken aşınma riski düşük olan fırınlar, yeni aşınma modelini uygulamak üzere 34 fırın arasından seçilmiştir. Seçilen bu fırınların hazne, karın, bel, gövde ve boğaz bölgelerinin hazne çapıyla ilişkisi, doğrusal ve üstel fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Son olarak bu fonksiyonlar tasarım kuralları olarak kabul edilmiş ve buna göre hazne çapı 8 m ile 16,5 m arasında değişen 18 farklı yüksek fırın tasarım önerisi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek fırın, bakır panel soğutucu, aşınma riski

Bilim Kodu: 625.02.02

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

NEW DESIGN PARAMETERS FOR BLAST FURNACES TO PREVENT THE PREMATURE WEAR OF COPPER STAVES

Mustafa ESMER

Bülent Ecevit University

Institute of Science

Mechanical Engineering Department

Thesis Advisor: Doç. Dr. H. Alper ÖZYİĞİT

Co-Advisor: Prof. Dr. Vahdet UÇAR

April 2017, 139 pages

In this doctorate thesis, the effects of design and operation parameters to the early abrasion at blast furnaces are analyzed by using a statistical method. A new approach is proposed for blast furnace design in order to avoid the premature failure of cooling staves by abrasion. Those staves are made from copper and located on the inner wall of the blast furnaces. A lifetime analysis is developed to estimate the failure possibility of copper staves on year basis. New design rules and geometric parameters are presented for modern blast furnaces with varying production capacities.

For all these analysis, the design and operation outcomes of 34 blast furnaces obtained from *World Steel Association* are used. The effect of each parameter on premature wear is investigated with Logistic Regression Statistical Analysis. The parameters which have high effect on premature wear of copper staves are determined.

ABSTRACT (continued)

The accuracy of this new model is tested by comparing the data with 34 real blast furnaces. The results show us that this new approach can make a great contribution to solve the premature wear problem at blast furnaces.

The risk factor of each blast furnace according to the new model is calculated and categorized in terms of wear conditions on year basis. Finally, the wear possibility of the copper staves for each year in between 3–10 years are determined with the logistic regression statistical analysis method.

Furnaces with low possibility of premature wear in 10 years are selected to apply the new model. The relationship between the hearth diameter and the main parts of the blast furnaces like, bosh, belly, stack, throat and hearth is derived as linear and exponential functions. Finally, these functions are accepted as design rules and 18 different blast furnaces are presented which have heart diameter between 8 and 16,5 m.

Keywords: Blast furnace, copper staves, wear risk

Science Code: 625.02.02

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, her aşamada büyük destek ve yardımını gördüğüm doktora tez danışmanım Doç. Dr. Hamdi Alper ÖZYİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, dünyadaki 34 faal yüksek fırına ait verilerin bu doktora kapsamında kullanımına izin veren Dünya Çelik Birliği'ne ve yardımları için Birlik Teknoloji Komite Başkanı Dr. A. Rizwan JANJUA'ya, yine bu tez çalışması süresince bana verdikleri destekten ötürü ERDEMİR'den Sn. Mehmet ÖZYÜREK ve Sn. Şansal ERBAY'a, teknik destekleri ve değerli fikir alışverişleri için Ternium Siderar/Arjantin Demir ve Çelik Fabrikaları'ndan Musante ROBERTO ve Germán CATALA'ya teşekkür ederim.

En sonda, fakat bir cihette ilk olarak, benden sabır ve desteklerini esirgemeyen annem Nazmiye ESMER, babam Kemal ESMER ve eşim Çiğdem Emirza ESMER'e teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1. BAKIR PANEL SOĞUTUCU HASAR TİPLERİ.....	5
1.1.1. Deformasyon.....	6
1.1.2. Sızıntı	7
1.1.3. Aşınma	8
1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	9
BÖLÜM 2 BAKIR PANEL SOĞUTUCULARINDA ERKEN AŞINMA PROBLEMİ	17
2.1. SİLOLAR VE YÜKSEK FIRINLAR	18
2.1.1. Silo Duvar Basınç Yaklaşımları	18
2.1.2. Silo Duvar Basınçları İçin Deneysel Yaklaşımlar	19
2.1.3. AISE Teknik Rapor 27'ye göre duvar hesapları.....	20
2.1.4. EN 1991-4:2006 Silo ve Tank Tasarımı	20
2.1.4.1. Yüksek Fırın Gövde Basınçlarının Analiz Edilmesi	21
2.2. YENİ BİR YAKLAŞIM: KARIN ERKEN AŞINMA RİSK FAKTÖRÜ (BAF)	28
2.2.1. Karın Erken Aşınma Faktörü Basınç Foksiyonu	30

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.2. Karın Erken Aşınma Faktörü Hız Foksiyonu:	31
2.2.3. Karın Bölgesi Erken Aşınma Faktörü.....	31
2.2.4. BAF Fonksiyonunun Deneysel Yolla Analiz Edilmesi	32
BÖLÜM 3 LOJİSTİK REGRESYON ANALİZLERİ.....	37
3.1. REGRESYON İSTATİSTİKSEL ANALİZ METODLARI	37
3.2. TASARIM PARAMETRELERİNİN LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİ.....	39
3.3 BAF VE ALT FONKSİYONLARININ LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİ	44
3.4. OPERASYON PARAMETRELERİNİN LOJİSTİK REGRESYON ANALİZLERİ .	45
3.5. <i>BAF_v</i> . 1 VE YILLARA GÖRE AŞINMA TAHMİNİ.....	50
BÖLÜM 4 MODERN YÜKSEK FIRINLAR İÇİN YENİ TASARIM KURALLARI.....	59
4.1. KAPASİTENİN TAYİN EDİLMESİ.....	60
4.2. HAZNE ÇAPININ BELİRLENMESİ.....	60
4.3. HAZNE ÇAPINA GÖRE ÇALIŞMA HACMİNİN BELİRLENMESİ.....	62
4.3.1. Yöntem-1	62
4.3.2. Yöntem-2	62
4.4. HAZNE ÇAPINA GÖRE TOPLAM İÇ HACMİN BELİRLENMESİ	63
4.5. HAZNE ÇAPINA GÖRE HAZNE YÜKSEKLİĞİNİN BELİRLENMESİ	64
4.6. HAZNE ÇUKURUNUN BELİRLENMESİ	66
4.7. TÜYER EKSENİ İLE KARIN BÖLGESİNİN BAŞLANGIÇ MESAFESİ	66
4.8. KARIN YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ	67
4.9. BEL ÇAPININ TAYİN EDİLMESİ	68
4.10. KARIN BÖLGESİNE AİT AÇININ TAYİN EDİLMESİ	68
4.11. BEL YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ	69
4.12. GÖVDE BÖLGESİNİN YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ.....	71
4.13. BOĞAZ ÇAPININ TAYİN EDİLMESİ	72
4.14. GÖVDE AÇISININ TAYİN EDİLMESİ	73
4.15. BOĞAZ YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ.....	74

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.16. ÇALIŞMA YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ.....	75
4.17. TOPLAM YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ	76
4.18. NİHAİ DURUMDAKİ BAF DEĞERLERİ	77
4.19. YENİ TASARIM KRİTERLERİNE GÖRE DEĞİŞİK FIRIN GEOMETRİLERİ ...	77
4.19.1. Hazne Çapı 8 m için Fırın Geometrisi	78
4.19.2. Hazne Çapı 16,5 m için Fırın Geometrisi	78
4.20. NİHAİ DURUMDA HAZNE ÇAPINA BAĞLI ÇALIŞMA HACMİ VE İÇ HACİM DEĞERLERİ	79
BÖLÜM 5 MEVCUT YÜKSEK FIRIN GEOMETRİLERİNDE AŞINMANIN ÖMRÜNÜN UZATILMASINA YÖNELİK YENİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	81
5.1. MEVCUT PROFİLDE KORUYUCU KATMAN OLUŞTURMAYA YÖNELİK ÇÖZÜMLER	81
5.1.1. PW/ Lüksemburg Firmasının Eklenti Çözümleri	81
5.1.2. Nippon Steel Firması Panel Soğucu Çözümü.....	83
5.1.3. Karın Açısının Panel Soğutucu Yardımı ile Modifikasyonu	83
5.1.4. Doktora Çalışması Kapsamında Çözüm Önerisi	84
5.2. FIRIN PROFİLİNDEKİ LOCAL MODİFİKASYON İLE YAPILABİLECEK ÇÖZÜMLER.....	84
5.2.1. Fırın Bel, Karın ve Tüyer Bölgesinde Yapılabilecek Modifikasyon Seçenekleri	85
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR.....	91
EK AÇIKLAMALAR A	95
EK A: Lojistik Refresyon Analizlerine ait Minitab Programı Çıktıları	95
EK B: Fırın Tasarımcıları ve Kullanıcılarına Önerilen Fırın Geometrileri.....	129
ÖZGEÇMİŞ	139

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Kedi Gözü İsimli Nebula	1
Şekil 1.2 Çelik Kullanım Alanları	2
Şekil 1.3 Ham Çelik Üretim Yöntemleri.....	3
Şekil 1.4 Yüksek Fırın Bölgeleri.....	4
Şekil 1.5 Bakır panel soğutucu hasar tipleri.....	5
Şekil 1.6 Bükülmüş Panel Soğutma Sistemleri	6
Şekil 1.7 Kaynaklı Tapa Bölgesindeki Vorteks	7
Şekil 1.8 Ternium Siderar Firmasındaki Bakır Çubuk Üzerindeki Abrazyon Aşınması.	8
Şekil 1.9 Fırın kesitindeki sıcaklık dağılımı.....	9
Şekil 1.10 Deneysel fırındaki farklı sonlu eleman sayılarına göre fırın duvar basınçları	10
Şekil 1.11 Ternium Siderar 2. Y.F. panel soğutucu hasarlarının görünümü	10
Şekil 1.12 BluScope No:6 Yüksek Fırına ait a) İki boyutlu deneysel model b) Üç boyutlu deneysel model	11
Şekil 1.13 Panel soğutucu üzerindeki sıcaklık ve içerisindeki su hızı dağılımı.....	12
Şekil 1.14 Deadman şekline göre şarj malzemesinin aşağıya doğru hareketi	13
Şekil 1.15 Mekanik abrazyona uğramış panel soğutucu	13
Şekil 1.16 Farklı karın açısı için fırın duvarındaki basınçlar.....	15
Şekil 2.1 Deneysel bir yüksek fırında duvar basınçları.....	19
Şekil 2.2 Deneysel bir yüksek fırında asal gerilmeler.....	19
Şekil 2.3 AISE 27 Numaralı Teknik Raporu Göre Gövde Basınçları	20
Şekil 2.4 Fırın gövde kısmındaki dikey basınçlar (kN/m ²)......	23
Şekil 2.5 Fırın gövde kısmındaki yatay duvar basınçları (kN/m ²).	24
Şekil 2.6 Fırın gövde boşaltma durumu için duvar basınçları (kN/m ²).	25
Şekil 2.7 Hunideki boşaltma durumundaki duvar basınçları (kN/m ²).	27
Şekil 2.8 Fırın kesiti boyunca duvar basınçları (kN/m ²).	27
Şekil 2.9 Sabit sürekli akışa sahip silodaki duvar basınçları	29
Şekil 2.10 Ternium Siderar BF2 karın ve bel bölgesi panel soğutucuları	29
Şekil 2.11 Fırınlara ait <i>BAF</i> değerleri	35
Şekil 2.12 Fırınlara ait <i>BAF_v</i> . 1 değerleri	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Linear Regresyon Tahmin Modeli ile Lojistik Regresyon Tahmin Modelinin Karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.2 Karın açısının aşınmaya etkisi.	40
Şekil 3.3 Çalışma hacminin aşınmaya etkisi.....	40
Şekil 3.4 Karın yüksekliğinin aşınmaya etkisi.....	41
Şekil 3.5 Hazne çapının aşınmaya etkisi.....	42
Şekil 3.6 Bel çapının aşınmaya etkisi.....	42
Şekil 3.7 Bel çapının aşınmaya etkisi.....	43
Şekil 3.8 Bel çapının aşınmaya etkisi.....	43
Şekil 3.9 BAF_p fonksiyonunun aşınmaya etkisi.	44
Şekil 3.10 BAF_v fonksiyonunun aşınmaya etkisi.	44
Şekil 3.11 BAF'in aşınmaya etkisi.....	45
Şekil 3.12 Pelet oranının aşınmaya etkisi.....	48
Şekil 3.13 Tüyer hızının aşınmaya etkisi.....	48
Şekil 3.14 Hava miktarının aşınmaya etkisi.....	49
Şekil 3.15 Hava miktarının aşınmaya etkisi.....	49
Şekil 3.16 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 3 yılda aşınma olasılığı.....	51
Şekil 3.17 Değişik BAF değerlerine göre 4 yılda aşınma olasılığı.....	52
Şekil 3.18 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 5 yılda aşınma olasılığı.....	53
Şekil 3.19 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 6 yılda aşınma olasılığı.....	54
Şekil 3.20 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 7 yılda aşınma olasılığı.....	55
Şekil 3.21 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 8 yılda aşınma olasılığı.....	56
Şekil 3.22 Değişik BAF değerlerine göre 9 yılda aşınma olasılığı.....	57
Şekil 3.23 Değişik BAF değerlerine göre 10 yılda aşınma olasılığı.....	58
Şekil 4.1 Fırın Geometrik Parametreleri.....	59
Şekil 4.2 Hazne çapı ile çalışma hacmi arasındaki ilişki.....	63
Şekil 4.3 Hazne çapı ile iç hacim arasındaki ilişki.....	64
Şekil 4.4 Fırınlara ait hazne çapı ile hazne yüksekliği arasındaki ilişki.	65
Şekil 4.5 Hazne çapı ile karın yüksekliği arasındaki ilişki.....	67
Şekil 4.6 Hazne çapı ile bel çapı arasındaki ilişki.....	68
Şekil 4.7 Hazne çapı ile karın açısı arasındaki ilişki.....	69
Şekil 4.8 Hazne çapı ile bel yüksekliği arasındaki ilişki.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.9 Hazne çapı ile bel yüksekliği arasında önerilen ilişki.....	71
Şekil 4.10 Hazne çapı ile gövde yüksekliği arasındaki ilişki.....	71
Şekil 4.11 Hazne çapı ile boğaz çapı arasındaki ilişki.....	72
Şekil 4.12 Hazne çapı ile gövde açısı arasındaki ilişki.....	73
Şekil 4.13 Hazne çapı ile boğaz yüksekliği arasındaki ilişki.....	74
Şekil 4.14 Hazne çapı ile toplam çalışma yüksekliği arasındaki ilişki.....	75
Şekil 4.15 Hazne çapı ile toplam yükseklik arasındaki ilişki.....	76
Şekil 4.16 Hazne çapı 8 m için fırın geometrisi.....	78
Şekil 4.17 Hazne çapı 16,5 m için fırın geometrisi.....	78
Şekil 4.18 Hazne çapına göre nihai fırın çalışma hacmi ve iç hacmi.....	79
Şekil 5.1 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-1.....	82
Şekil 5.2 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-2.....	82
Şekil 5.3 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-2.....	83
Şekil 5.4 Nippon Steel firmasına ait özet panel soğutucu tasarımı.....	83
Şekil B.1 Hazne çapı 8 m için fırın geometrisi.....	129
Şekil B.2 Hazne çapı 8,5 m için fırın geometrisi.....	129
Şekil B.3 Hazne çapı 9 m için fırın geometrisi.....	130
Şekil B.4 Hazne çapı 9,5 m için fırın geometrisi.....	130
Şekil B.5 Hazne çapı 10 m için fırın geometrisi.....	131
Şekil B.6 Hazne çapı 10,5 m için fırın geometrisi.....	131
Şekil B.7 Hazne çapı 11 m için fırın geometrisi.....	132
Şekil B.8 Hazne çapı 11,5 m için fırın geometrisi.....	132
Şekil B.9 Hazne çapı 12 m için fırın geometrisi.....	133
Şekil B.10 Hazne çapı 12,5 m için fırın geometrisi.....	133
Şekil B.11 Hazne çapı 13 m için fırın geometrisi.....	134
Şekil B.12 Hazne çapı 13,5 m için fırın geometrisi.....	134
Şekil B.13 Hazne çapı 14 m için fırın geometrisi.....	135
Şekil B.14 Hazne çapı 14,5 m için fırın geometrisi.....	135
Şekil B.15 Hazne çapı 15 m için fırın geometrisi.....	136
Şekil B.16 Hazne çapı 15,5 m için fırın geometrisi.....	136
Şekil B.17 Hazne çapı 16 m için fırın geometrisi.....	137
Şekil B.18 Hazne çapı 16,5 m için fırın geometrisi.....	137

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Endüstriyel bir yüksek fırın geometrik bilgileri.....	21
Çizelge 2.2 Fırın duvar hesabı için dikkate alınan parametreler-2	21
Çizelge 2.3 Aşınma görülmeyen 10 yıldan fazla ömre sahip fırınlar- Grup-1.....	32
Çizelge 2.4 Aşınma görülmeyen 10 yıldan az ömre sahip fırınlar - Grup-2.....	33
Çizelge 2.5 Aşınma görülmeyen 10 yıldan az ömre sahip fırınlar - Grup-2 devamı	33
Çizelge 2.6 Aşınma görülen ve 10 yıldan az ömre sahip fırınlar- Grup-3.....	34
Çizelge 2.7 Aşınma görülen ve 10 yıldan az ömre sahip fırınlar- Grup-3 devamı	34
Çizelge 3.1 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-1	46
Çizelge 3.2 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-2	46
Çizelge 3.3 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-3	47
Çizelge 3.4 Otuz dört fırının 3. yıl için aşınma durumu	50
Çizelge 3.5 Otuz dört fırının 4. yıl için aşınma durumu	51
Çizelge 3.6 Otuz dört fırının 5. yıl için aşınma durumu	52
Çizelge 3.7 Otuz dört fırının 6. yıl için aşınma durumu	53
Çizelge 3.8 Otuz dört fırının 7. yıl için aşınma durumu	54
Çizelge 3.9 Otuz dört fırının 8. yıl için aşınma durumu	55
Çizelge 3.10 Otuz dört fırının 9. yıl için aşınma durumu	56
Çizelge 3.11 Otuz dört fırının 10. yıl için aşınma durumu	57
Çizelge 4.1 Birim hazne alanı başına kapasite ve üretkenlik değerleri.....	61
Çizelge 4.2 Fırınlara ait hazne çapı ve çalışma hacmi verisi	63
Çizelge 4.3 Fırınlara ait hazne çapı ve iç hacmi verisi	64
Çizelge 4.4 Fırınlara ait hazne çapı ve hazne yüksekliği verisi	65
Çizelge 4.5 Değişik fırınlara ait tüyer ve karın başlangıcı mesafe verisi	66
Çizelge 4.6 Hazne çapı ve karın yüksekliği verileri.....	67
Çizelge 4.7 Hazne çapı ve bel çapı verileri.....	68
Çizelge 4.8 Hazne çapı ve karın açısı verileri.....	69
Çizelge 4.9 Hazne çapı ve bel yüksekliği mesafeleri.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.10 Hazne çapı ve gövde yüksekliği verileri	72
Çizelge 4.11 Hazne çapı ve boğaz yüksekliği verileri	73
Çizelge 4.12 Hazne çapı ve gövde açısı verileri.	74
Çizelge 4.13 Hazne çapı ve boğaz yüksekliği verileri	75
Çizelge 4.14 Hazne çapı ile çalışma yüksekliği arasındaki ilişki.	76
Çizelge 4.15 Hazne çapı ile toplam yükseklik arasındaki ilişki.....	77
Çizelge 4.16 Hazne çapına göre BAF değerleri.	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

γ	: Özgül ağılığı
A	: Silo kesit alanı
K	: Yanal basınç oranı
a_k	: Yanal basınç oranı ortalama
d_c	: Silo iç kesiti karakteristik boyutu
h_c	: Geçiş ile eşdeğer yüzey arası
U	: Silo çevresi
μ	: Duvar sürtünme katsayısı
φ_r	: Malzeme şev açısı
z_0	: Janssen karakteristik derinliği
P_{ho}	: Asimtotik dik basınç değeri
h_0	: En üst malzeme depolama yüksekliği
n	: Huni üst ilişki faktörü
Y_r	: Silo basınç derinlik değişim faktörü
z_v	: Dik basınç için uygulama yüksekliği
P_{vf}	: Dik basınç
P_{hf}	: Duvar basıncı (statik durumda)
P_{he}	: Duvar basıncı (dinamik durum)
P_v	: Hunideki ortalama dikey basınç
F_e	: Huni boşaltma oranı
H_t	: Karın ortası ile şarj noktası arasındaki yükseklik
$\beta_{karın}$: Karın açısı
$\beta_{gövde}$: Gövde açısı
β	: Huni açısı
\emptyset_{bel}	: Bel çapı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ρ	: Yoğunluk
$A_{karın}$: Karın yüzey alanı
$\varphi_{çalışma}$: Çalışma hacmine bağlı üretkenlik
$V_{çalışma}$: Çalışma hacmi
$V_{iç hacim}$: İç Hacim
V_{bel}	: Beldeki hız faktörü
$H_{gövde}$: Gövde yüksekliği
D_t	: Boğaz yüksekliği
H_{bel}	: Bel yüksekliği
$H_{karın}$: Karın yüksekliği
$H_{boğaz}$: Boğaz yüksekliği
H_{toplam}	: Boğaz yüksekliği
ζ	: Elverişlilik
$Q_{günlük_max}$: Günlük maksimum üretim miktarı
$Q_{günlük}$: Günlük üretim miktarı
A_{hazne}	: Hazne yüzey alanı
$Q_{yıllık_max}$: Yıllık maksimum üretim miktarı
$Q_{hazne-g}$: Günlük hazne birim alana göre üretim değeri
\emptyset_{hazne}	: Hazne çapı
$\emptyset_{boğaz}$: Boğaz çapı

KISALTMALAR

BAF	: Karın aşınma faktörü
BAF_v1	: Karın aşınma faktörü (diğer versiyon)
BAF_p	: Karın basınç fonksiyonu
BAF_v	: Karın hız fonksiyonu
CFD	: Computational Fluid Dynamics
DEM	: Discrete Element Method
DRI	: Direct Reduced Iron (Sünger Demir)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

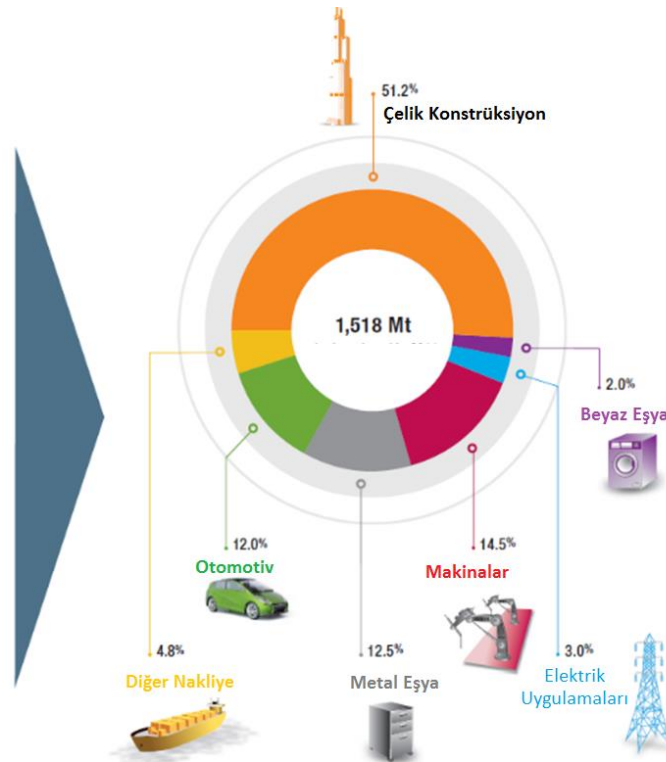
Demir (Fe) atomu yıldızlardaki füzyon silsilesinin son halkası olup, süpernova ile kâinata hayat kaynağı olmaktadır. Büyük patlamadan birkaç yüz bin yıl sonra proton ve nötronlar soğuyarak büyük oranda Hidrojen (H) ve daha az oranda Helyum (He) atomları oluşmuştur. Geçen milyonlarca yıl sonucunda ise yıldızlar oluşmaya başlamıştır. Yıldızların merkezindeki çekim kuvvetinin etkisi ile oluşan ısı, nükleer füzyon reaksiyonlarını başlatmış ve başlatmaktadır. Güneşten en az 10 kat büyük, yüksek ısı ve yeterli kütleyle sahip yıldızlardaki bu füzyon silsilesinin son halkasını Fe atomu oluşturmaktadır (NASA 2017). Demir atomu oluşumu demek aslında sırasıyla; yıldızlardaki ekzotermik füzyon reaksiyonlarının sonu, yıldızın soğuması, 15 saniye gibi bir sürede çekim kuvvetinin iç basıncı yenerek yıldızın büzülmesi ve süpernova adı verilen büyük patlama ile yıldızın içerdiği tüm elementlerin canlı ve cansız varlıkların yapı taşlarını oluşturması amacıyla kâinata 20.000.000 m/s hızla saçılmasıdır (Herschel 2017), (NASA 2017).



Şekil 1.1 Kedi Gözü İsimli Nebula (NASA 2017).

Güneşteki kütle, ısı ve basınç yeterli olmadığı için dünyamızdaki Fe atomu, büyük yıldızların süpernovasıyla dünyamızın en önemli yapı taşlarından birisini oluşturmuştur (NASA 2017). Kâinatta en fazla bulunan ağır metal demir, dünyamızın %34'ünü ve yer kabuğunun %5'ini oluşturmaktadır. Demir dünyanın manyetik alanı oluşumuna büyük oranda etki ederek zararlı ışınların dünyamıza gelmeden uzaya yönlendirilmesini sağlar. Buna ek olarak demir kırmızı kan hücreleri üretimi ve bazı enzimler için gereklidir. Dolayısıyla demir, kâinatta ve dünyada, makro ve mikro planda varlıkların esas yapı taşını teşkil elementlerin başında gelmektedir.

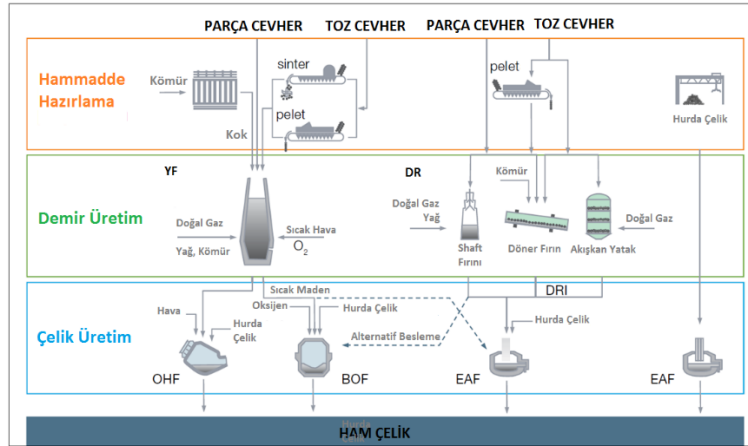
Yerkabuğunda demir, oksit formunda bulunup, demir madenlerinin %98'i çelik üretimi için kullanılmaktadır. Üretimi milattan önce 3000'li yıllara dayanan demirin günümüzde çelik ile birlikte tüketimi, ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren en önemli parametrelerden birisidir. Dünyada üretimi 2014 itibariyle 1665 milyon tona ulaşan ham çelik Şekil 1.2'de görüldüğü gibi başta inşaat malzemeleri olmak üzere otomotiv, gemi, uçak, demiryolu ve vagon gibi tüm taşıt araçları ve akla gelebilecek tüm makine, cihaz ve eşyaların temel yapı taşını oluşturur (World Steel in Figures 2016).



Şekil 1.2 Çelik Kullanım Alanları (Sustainable Steel 2017).

Çelik üretiminde iki farklı ana yöntem vardır. Bunlardan ilki % 70 kullanım oranıyla Yüksek Fırın-Bazik Oksijen Fırını kombinasyonu, ikincisi ise %29 oranla Elektrik Ark Ocağı'dır. Bunun dışında kalan %1'lük üretimi ise Siemens Martin Ocağı karşılamaktadır (Fact Energy 2016). Ana iki çelik üretim yöntemine ait temel girdiler aşağıda verilmiştir (Sustainable Steel 2012).

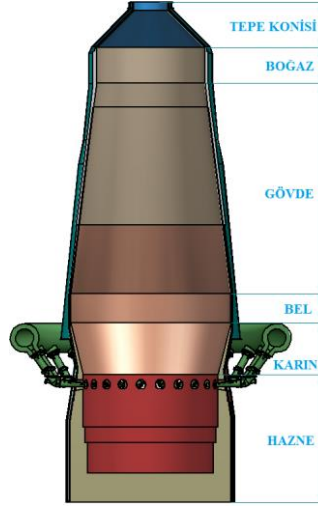
- Yüksek Fırın-Bazik Oksijen Fırını Kombinasyonu Üretim Hattı: Ana hammadde girdisi olarak demir madeni, kömür, kireç taşı ve hurda çelik kullanılmaktadır. 1 ton çelik üretimi için ortalama 1,400 kg demir cevheri, 800 kg kömür, 300 kg kireçtaşı ve 120 kg hurda demir gereklidir.
- Elektrik Ark Ocağı Üretim Hattı: Bu yöntemde ana girdi malzemesi olarak hurda çelik, sünger demir (DRI), sıcak maden ve elektrik kullanılmaktadır. Hurda çelik ile 1 ton ham çelik üretimi için 880 kg hurda çelik, 16 kg kömür ve 64 kg kireçtaşı gereklidir.



Şekil 1.3 Ham Çelik Üretim Yöntemleri.

Şekil 1.3' de görüldüğü gibi yüksek fırınlar, bazik oksijen fırını ile birlikte ham çelik üretim hattında yer almakta olup, pik demir üretimi için kullanılan metalürjik reaktörlerdir. Yüksek fırına sinter, demir cevheri, pellet gibi demirli hammaddelerle birlikte metalürjik kok ve kireçtaşı fırın üst bölgesinden beslenir. Fırın tüyer bölgesinden ise sıcak hava, oksijen, doğalgaz veya pulverize kömür enjekte edilir (Williams 1983). Oluşan reaksiyonlar sonucunda bazik oksijen fırınında çelik üretimine yönelik, içeriği %4-6 aralığında olan pik demir üretilir (Peacey and Davenport 1979).

Modern yüksek fırınlar yapı olarak içten dışa üç katmandan oluşur. En içte blok ve tuğlalardan oluşan refrakterler, ortada refrakterleri koruyan soğutma sistemi, en dışta ise mekanik ve termal yükleri tutan çelik zırh bulunmaktadır (Crudu et al. 1998). Şekil 1.4'te görüleceği üzere yüksek fırınlar dik yönde 6 kısımdan oluşmaktadır. Ana kısımlar aşağıdan yukarıya sırasıyla hazne, karın, bel, gövde, boğaz ve tepe konisidir.



Şekil 1.4 Yüksek Fırın Bölgesi.

Yüksek Fırın gövdesinde fırın gövdesini ve kullanılan refrakterleri korumak amacıyla soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu soğutma sistemleri; panel soğutma, kamalı soğutma, kaset soğutma ve sprej soğutma gibi farklı sistemlerden oluşmaktadır. Soğutma sistemlerinin en yaygın olarak kullanılanı ise montaj kolaylığı, karmaşık refrakter yapısı gerektirmemesi ve fırın inşa süresini kısaltması nedeniyle panel tipi olanıdır. Panel tipi soğutma sistemlerinde bakır ve demir esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Bunun yanında yüksek ısı yüküne maruz fırın bölgelerinde de çelik panel soğutucu kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Blanco 2016).

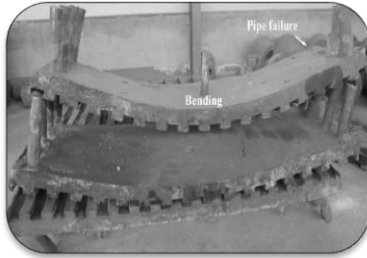
Son yıllarda, özellikle bakır panel soğutuculu yüksek fırınlarda, soğutma panellerinde çeşitli sebeplere bağlı hasarlar oldukça sık olarak görülmeye başlanmıştır. Hasarlar işletmeler için en basit anlamda üretim düşüşü demektir. Daha kötüsü ise fırını büyük bakıma götürebilecek 100 milyonlarca TL maliyetli bir felakete sebep olabilmektedirler. Bu nedenle firmalar, üreticiler, üniversiteler ve bilim adamları demir-çelik endüstrisini bu problemten kurtarabilecek çözüm arayışlarına girmişlerdir. Bu çalışmalara büyük bütçeler ayrılmaktadır.

İşte bu doktora çalışması da yüksek fırınlarda kullanılan panel soğutma sistemi probleminin çözümüne yönelik olup, bu kapsamda;

- Yüksek fırın tasarım ve operasyon parametrelerinin erken aşınmaya etkileri incelenmiş,
- Aşınma probleminin önüne geçilebilmesi için yüksek fırın tasarımında kullanılabilecek yeni bir yaklaşım önerilmiş,
- Bakır panel soğutucularının yıllara göre aşınma ihtimalini tahmin eden aşınma ömür modeli hesaplanmış,
- Modern yüksek fırınlarda kullanılabilecek yüksek fırın tasarım kuralları ortaya konulmuş ve türetilen tasarım kurallarına göre farklı üretim kapasitelerine sahip fırın geometrileri oluşturulmuş,
- Ayrıca, mevcut fırınlarda aşınma riskini azaltmaya yönelik panel soğutucu-ekleni kombinasyonundan, buna ek olarak karın bölgesinde yapılabilecek modifikasyon seçeneklerinden bahsedilmiştir.

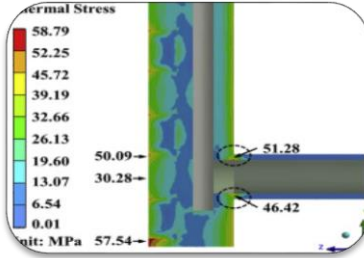
1.1. BAKIR PANEL SOĞUTUCU HASAR TİPLERİ

Bakır panel hasar tipleri en genel anlamda deformasyon, kaçak ve aşınma olmak üzere üçe ayrılabilir (Şekil 1.5).



Deformasyon

- Aşırı ısı yükü
- Isı Dalgalanması
- Tasarımdan kaynaklı problemler



Sızıntı

- Üretim kusurları
- Tasarım kaynaklı nedenler
- Değişken ısı yükü



Aşınma

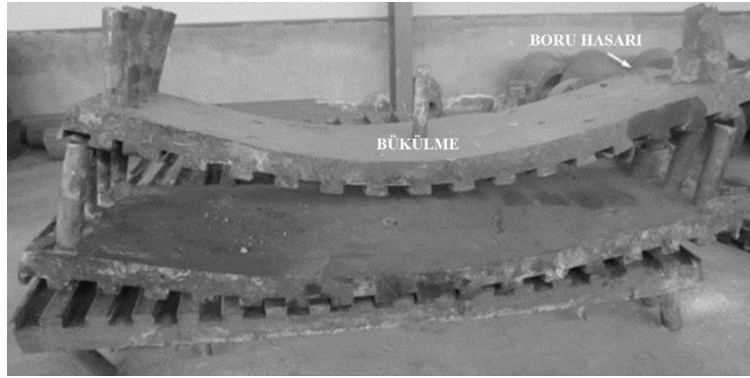
- Koruyucu Katman Tabakası
- Pik basınç
- Fırın şarj malzeme hızı

Şekil 1.5 Bakır panel soğutucu hasar tipleri (Cegna, et al. 2014), (Smith and Allan 2011), (Liu et al. 2015).

Bu bölümde hasar tiplerine neden olan kök nedenlerden bahsedilecektir.

1.1.1. Deformasyon

Deformasyon eğilme, lokal deformasyon ya da burkulma şeklinde panel soğutucunun tümünde ya da bir bölümünde görülebilir. Bu hasarın ana nedenleri aşırı ısı yükü, ısı dalgalanması ve tasarım kaynaklı diğer durumlardır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Bükülmüş Panel Soğutma Sistemleri (Liu et al. 2015).

Aşırı ısı yükü panel soğutucunun sınırlarını zorlayabilir. Bu nedenle genişleme limitleri tasarım sınırlarını geçebilir ve kalıcı deformasyon oluşabilir.

Değişken ısı yükü özellikle koruyucu katman tabakasının kaybolmasına neden olur. Bu nedenle panel soğutucu yüzeyinde çok hızlı ısı artışı olur ve panel soğutma sistemi buna cevap veremeyerek plastik şekil değişimine uğrar.

Tasarımdan kaynaklı nedenlerle de deformasyon problemi görülebilir. Bu problemin önüne geçmek amacıyla panel kalınlığı, panel sabitleme noktaları, soğutma kanallarının konumları ve geometrileri tüm çalışma koşulları ile birlikte dikkate alınarak tüm analizler bütüncül bir yaklaşımla yapılmalıdır.

Deformasyon nedeniyle şarj malzemesi, panel soğutucunun arkasına ve yan taraflarına nüfuz edebilir. Bu nedenle panel soğutucunun hareketi kısıtlanmakta ve panel soğutucunun arkasına dolan malzeme ile soğutucu fırına doğru ötelenmektedir. Şarj malzemesinin bu nüfuziyeti nedeniyle panel soğutucu eğilmekte, burkulmakta ve lokal deformasyona maruz kalmaktadır.

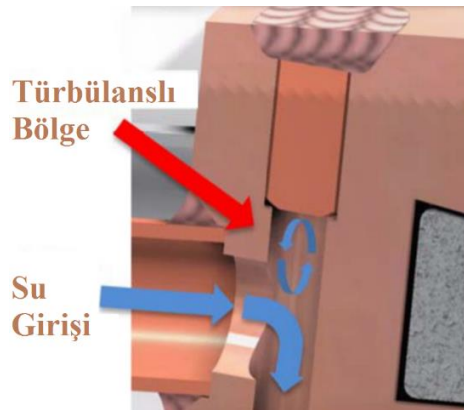
Panel gövdesindeki hasara ek olarak genişleme elemanı, soğutma boru kaynağı ve sabitleme cıvataları da zarar görmektedir.

1.1.2. Sızıntı

İmalattan kaynaklı boşluk, çatlak gibi kusurlar bu bölgelerdeki gerilme değerlerini ciddi miktarda artırmaktadır. Bu nedenle kusur bölgelerinde çatlama ve çatlak yürümesine bağlı sızıntı problemleri görülebilir.

Panel soğutucudaki kaynaklı tapalar, cıvatalı kanal bağlantıları, sabitleme cıvataları ve soğutma borusu-panel bağlantıları, sıcaklık farklarından ve sınırlamalardan kaynaklı gerilme ve deformasyonlarla mücadele edebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Özellikle kaynaklı tapalar soğutma kanallarının son kısımlarında yer almaktadır. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi, soğutma borusu ise tapadan önce çıktığı için bu bölgede vorteks oluşumu nedeniyle sıcaklık değişimleri meydana gelmektedir. Buna ek olarak bakır kaynak elektrotuna ait ısı iletkenlik değeri, ana bakır malzemenin ısı iletkenlik değerinden farklı olduğu için sıcaklık gradyanına bağlı olarak termal gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Hem vorteks oluşumu hem de sıcaklık gradyanı, çatlak oluşumunu, dolayısıyla da sızıntı ihtimalini artırmaktadır.



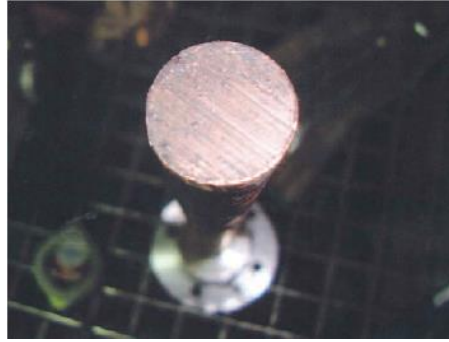
Şekil 1.7 Kaynaklı Tapa Bölgesindeki Vorteks (Smith and Allan 2011).

Değişken ısı yükü panel soğutucu elemanları üzerinde ısıl yüklemenin sürekli değişimi anlamına gelmektedir. Bu yükleme yüksek termal gerilme bölgelerinde ve kaynaklı birleştirmelerde yorulma çatlaklarına neden olabilir.

1.1.3. Aşınma

Abrazyon aşınması sert malzemelerin mekanik hareket ile temas halinde olduğu yüzeyden malzeme kopması şeklinde tanımlanmaktadır.

Cegna et al. (2014), panel soğutucu kalınlığını ölçme amacıyla fırın içerisine bir bakır çubuk yerleştirmişlerdir. Sonrasında bakır çubuk incelendiğinde şarj malzemesinin çubuk üzerinde derin çizikler meydana getirdiği görülmüştür. Bu durumun fırın şarj hareketinden kaynaklı abrazyon aşınması olduğu sonucuna varılmıştır. (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Ternium Siderar Firmasındaki Bakır Çubuk Üzerindeki Abrazyon Aşınması (Cegna et al. 2014).

Koruyucu katman tabakasının iki görevi vardır. Bunlardan ilki şarj malzemesinin panel soğutucu ile direk temasını önlemek, diğeri ise ısıl katman oluşturarak panel soğutucu üzerindeki ısı yükünü azaltmaktır. Soğutucu panel yüzeyi, katman tabakasının kayması veya aşırı ısı ve duvar hareketleri nedeniyle yok olması sonucunda, fırın şarj malzemesinin aşınma etkisine maruz kalacaktır.

Koruyucu katman tabakası kaybı veya yok olması; yüksek ısı yükü, değişken ısı yükü, malzeme kayması, yüksek fırın şarj malzeme hızı, duvar önündeki yüksek gaz hızı ve panel soğutucunun ani şekil değişiminden kaynaklanabilmektedir.

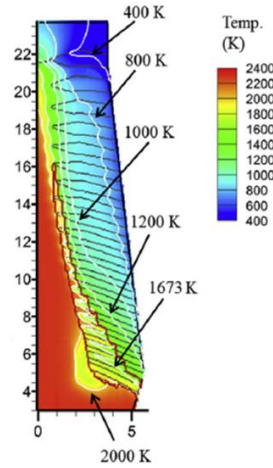
Pik temas basıncı yüksek fırın kesit değişim bölgelerinde görülmektedir. Bu bölgelerde panel üzerinde koruyucu katman tabakası oluşmazsa, soğutucu çok hızlı bir şekilde hasar görür. Pik basınç yüksek fırın profili ile direkt ilgilidir.

Fırın şarj malzeme hızı panel soğutucu üzerinde koruyucu katman tabakası olmadığına aşınmayı artırıcı etki yapmaktadır. Duvar önündeki malzeme hızı, fırın üretkenlik değeri, fırın profili ve şarj dağılımıyla ilgilidir.

1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

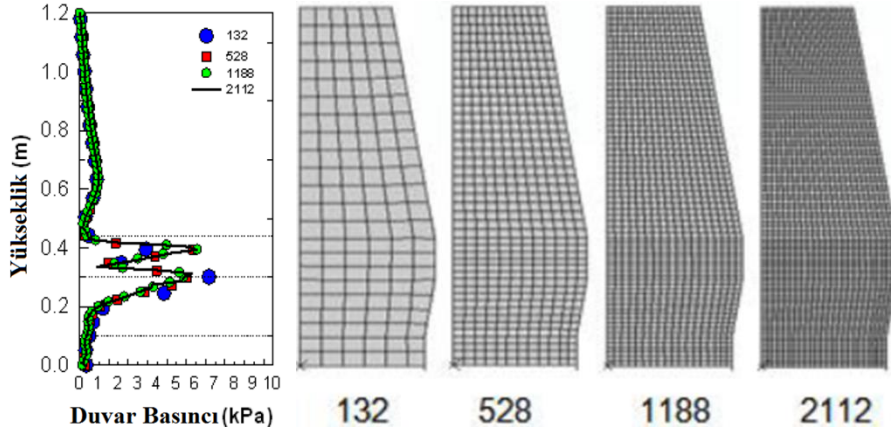
Bu bölümde, yüksek fırın soğutma sistemi, panel soğutucuları, fırın iç duvarındaki ısı ve mekanik yükler, soğutma sisteminde yaşanan sıkıntılar ve çözüm yolları ile ilgili literatür sunulmuştur.

Fu et al. (2015), fırın gövde bölgesindeki gaz ve şarj malzeme hareketlerini, kimyasal reaksiyonları, gaz ve katı faz arasındaki ısı ve kütle geçişini aynı platformda CFD (Computational Fluid Dynamics) yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Değişik çalışma parametrelerine göre katılaşma tabakasının şeklini ve konumunu hesaplamışlardır. Buldukları sonuçları endüstriyel fırınlar ile karşılaştırarak doğrulamış ve pratikte fırın gövde bölgesinde proses ile şarj malzemesinin hareketlerini temsil edebilecek bir model ortaya koymuşlardır. (Şekil 1.9).



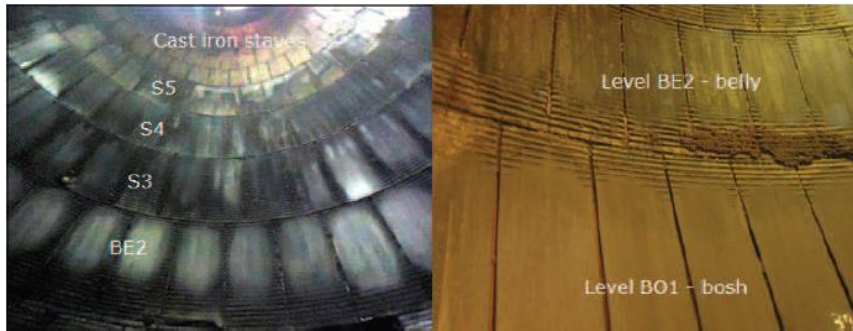
Şekil 1.9 Fırın kesitindeki sıcaklık dağılımı (Fu et al. 2015).

Pomeroy (2014) doktora tezi kapsamında, yüksek fırın içerisindeki granüler malzemelerin fırın iç duvarına yaptığı basıncı incelemiştir. Sıvı ve granüler akış prensiplerini kullanarak hazırladığı modeli ölçeklendirmiş ve deneysel fırınlardan alınan veriler ile de karşılaştırarak doğrulamıştır. Özellikle Şekil 1.10'da görüleceği üzere, değişen fırın geometrisine göre fırın duvarındaki basınç değerlerinin değişimini gösteren çalışma, fırın gövde basınçlarını anlaşılır bir şekilde ifade etmesi açısından önemlidir.



Şekil 1.10 Deneysel fırındaki farklı sonlu eleman sayılarına göre fırın duvar basınçları (Pomeroy 2014).

Cegna et al. (2014), Ternium Siderar firmasına ait 2. Yüksek Fırın soğutma sisteminde yaşadıkları problemleri ve çözüm için yaptıkları çalışmaları anlatmışlardır. 2 numaralı fırında yapılan modernizasyonla 2007 yılında bakır panel soğutma sistemine geçmişlerdir. Bu geçişten kısa bir süre sonra panel soğutucuların aşınma neticesinde fırın içerisine su sızdığını tespit etmişlerdir. Yapılan analizler ve araştırmalar neticesinde probleme Şekil 1.11’de görüldüğü gibi mekanik abrazyon aşınmasının neden olduğunu bulmuşlardır. 2010 yılına kadar bu problemin yüksek fırınlarda pek yaşanmadığını, ancak son yıllarda gittikçe arttığını belirtmişlerdir.



Şekil 1.11 Ternium Siderar 2. Y.F. panel soğutucu hasarlarının görünümü (Cegna et al. 2014).

Alman Çelik Üreticilerin desteklediği bir araştırma raporunda fırınlardaki aşınma olayları incelenmiştir (Lüngen et al. 2000). İtalyan demir ve çelik üreticisine ait Taranto 5. Yüksek Fırınında karın bölgesinden alınan numuneler hem fiziksel hem de mikro yapı araştırmasına tabi tutulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, buradaki malzeme özelliği hemen hemen hiç değişmemiş olduğundan, aşınmaya mekanik abrazyonun neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Nogami et al. (2005), yaptıkları çalışmada, CFD (Computational Fluid Dynamics) yöntemini kullanarak fırın içerisindeki kimyasal reaksiyonları, gaz akışını ve katı malzemelerin hareketlerini incelemiştir. Buldukları sonuçları faal halde bulunan fırınlar ile karşılaştırarak kendi modellerini doğrulamışlardır. Doğrulanan modellerle ULCOS adıyla bilinen ve yüksek fırınlarda karbon salınımı azaltma amacını taşıyan projeyi, yıllar önce bilgisayar ortamında deneyerek, gövde bölgesinden CO₂ enjekte edilmesinin gövde gazı emisyonlarını azalttığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, plastik enjeksiyonun fırın içerisindeki etkilerini bu modeli kullanarak analiz etmişlerdir.

Wright et al. (2011), Şekil 1.12’de gösterilen deneysel bir mini yüksek fırını kullanarak, farklı çalışma şartlarında malzeme hareketlerini incelemiştir. İki boyutlu model ile üç boyutlu deney seti hazırlayarak sonuçlar arasındaki farkları ortaya koymuşlardır. Deadman (dead man) bölgesinin 2 boyutlu modelde, 3 boyutlu modele göre, gaz ve malzeme akışı yönünden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Bu deneysel verilerin DEM (Discrete Element Method) ile doğrulanmasıyla yüksek fırın prosesini analiz etmek için daha ileri çalışmalar yapılabileceğini belirtmişlerdir.



(a)



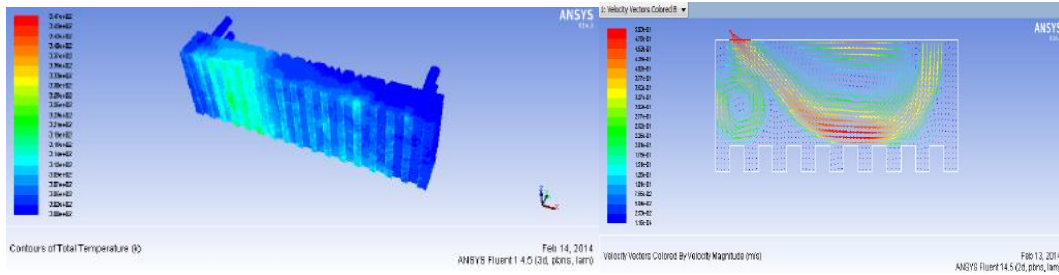
(b)

Şekil 1.12 BluScope No:6 Yüksek Fırına ait a) İki boyutlu deneysel model b) Üç boyutlu deneysel model (Wright et al. 2011).

Joubert (1997), yüksek lisans tezi kapsamında yüksek fırın performansı ve ömrünün uzatılması amacıyla soğutma sistemlerini ve refrakterlerini CFD yöntemi kullanılarak analiz etmiştir. Fırına ait karın, bel ve alt gövde bölgesindeki aşınmaların en önemli nedeninin yüksek ısı yükü

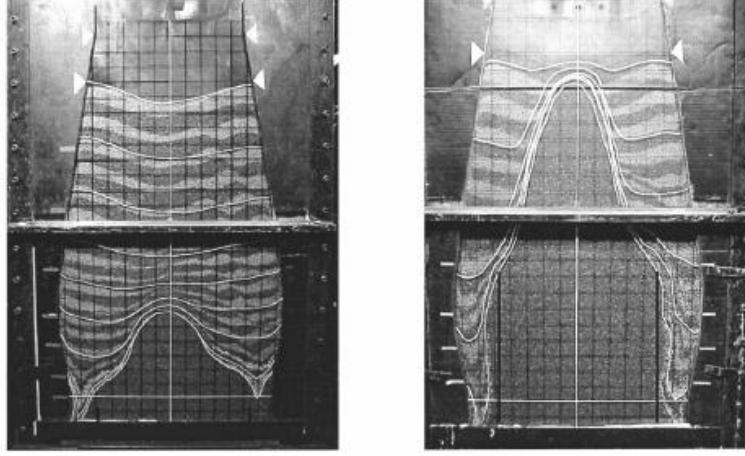
olduğunu savunmuştur. Semi-grafit refrakterlerin bakır plaka ve bakır panel soğutucuları ile, SiC refrakterlerinin ise döküm panel soğutucular ile iyi bir kombinasyon oluşturduğunu ifade etmiştir. Fakat SiC-döküm panel soğutucu kombinasyonunun yüksek sıcaklığa sahip karın, bel ve alt gövde bölgesinde kullanımının uygun olmadığını, bu kombinasyonun orta ve üst gövde bölgesinde kullanılmasının daha doğru olduğunu söylemiştir.

Soni and Verma (2014), panel soğutucuları değişik geometrik özellikler ve çalışma şartlarında ANSYS Fluent yazılımı kullanarak analiz etmişlerdir (Şekil 1.13). Geometrik parametre olarak panel soğutucu kalınlıklarının, soğutma boru çaplarının, boruların konumlarının, koruyucu katman kalınlığının panel soğutucu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Operasyon parametreleri olarak da soğutma suyunun sıcaklığı ve hızının panel soğutucu üzerindeki performansını hesaplayarak gözlemişlerdir. Ayrıca tüm şartlardaki mekanik gerilmeler ve yer değiştirmeleri de ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, belli çalışma şartlarına göre hem tasarım hem de operasyon parametrelerinin optimum noktasını belirleyen bir model ortaya koymuşlardır.



Şekil 1.13 Panel soğutucu üzerindeki sıcaklık ve içerisindeki su hızı dağılımı (Soni and Verma 2014).

Ichida et al. (2006), yüksek fırın profilinin gaz ve şarj malzemesinin akışına etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla üç boyutlu 1/10 ve 1/20 oranında küçültülmüş deneysel fırın üzerinde çalışmalar yapmışlardır (Şekil 1.14). Bu çalışma sonuçlarına göre fırın duvar geometrisinin aşınmadan dolayı değişmesinin ya da üst gövde bölgesinde balkon oluşmasının (scaffolding) malzeme ve gaz akışını önemli miktarda değiştirdiğini gözlemlenmişlerdir. Bu değişimi azaltma amacıyla üst gövde ile boğaz kısmı arasına, Nippon Steel'deki tüm fırınlarda kullanılmak üzere su soğutmalı döküm panel sistemi tasarlanmışlardır. Bu çalışma kapsamında ulaşılan diğer bir sonuca göre; fırın tepe bölgesinden hareketine başlayan şarj malzemesinin hızı kesit boyunca homojen değildir ve duvar bölgesinde bu hız daha fazladır. Duvar bölgesindeki hızda ise gövde kesiti genişledikçe artmaktadır.



Şekil 1.14 Deadman şekline göre şarj malzemesinin aşağıya doğru hareketi (Ichida et al. 2006).

Laar and Engel (2015), fırınların karın bölgesinin çok yüksek ısı yüküne maruz kaldığını, bu bölgede şarj malzemesinin aşağıya doğru hareketinin yanı sıra katı partikülleri içeren sıcak gazların yukarı doğru hareket ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca soğutma amacıyla kullanılan panel soğutucuların, yüksek ısı yüküne, bu yükün dalgalanmasına ve Şekil 1.15'teki gösterildiği gibi mekanik abrazyon aşınmasına karşı dayanımının düşük olduğunu savunmuşlardır. Bu amaçla panel soğutucu yerine bakır plaka kullanımını önermişlerdir.



Şekil 1.15 Mekanik abrazyona uğramış panel soğutucu (Laar and Engel 2015).

Shaw et al. (2015), panel soğutucu önünde koruyucu katman tabakasının olmamasının, fırının çok erken büyük bakıma girmesine neden olacağını ve bunun da büyük maliyetler getireceğini belirtmişlerdir. Soğutucuların hasarına neden olan mekanik abrazyon aşınmasının önlenmesi için koruyucu katman tabakasının sürekli gözlemlenmesi ve katmanın oluşması için çaba sarfedilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu amaçla düşük frekanslı ses dalgalarını kullanarak

koruyucu katman ölçme sistemini geliştirmişler ve hasarlanan panel soğutucuları için özel parmak soğutucu tasarlamışlardır.

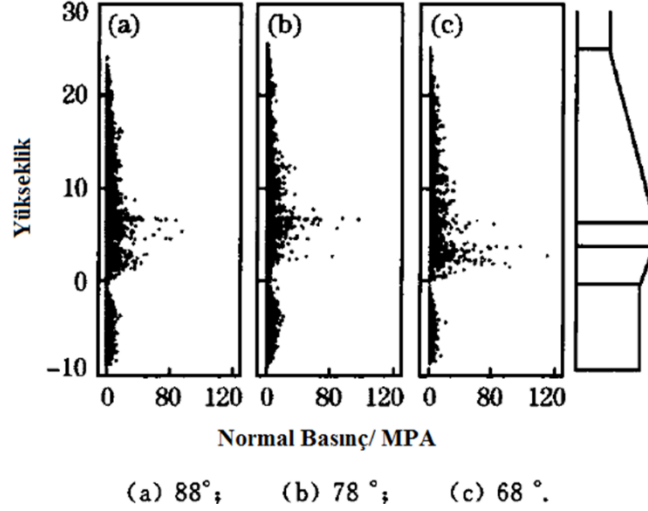
Wu et al. (2008), panel soğutucu üzerinde ısı ve gerilme analizi yapmışlardır. Soğutma suyu sıcaklığı, soğutma kanallarının geometrisi, refrakter tabakasının özellikleri ve koruyucu katman tabakasının etkilerini incelemişlerdir. Bu incelemede şarj malzemesinin ısıtım özelliklerini de dikkate almışlardır. Soğutucu üzerindeki maksimum sıcaklık ve ısı yüklerinin soğutucu operasyon parametreleri ve tasarım parametreleri ile değişebileceğini ortaya koymuşlardır.

Wu et al. (2007), fırın alt bölgesinin çok yüksek ısı yüküne maruz kaldığını, bu bölgedeki aşınmanın diğer kısımlara göre fırın ömrünü önemli miktarda etkilediğini tespit etmişlerdir. Bu bölgedeki soğutma sisteminin hasar görmesinin fırını büyük bakıma getiren nedenlerin en önemlilerinden olduğunu ifade etmişlerdir. Dolayısıyla soğutma sisteminin fırın ömrünü uzatmada anahtar rol olduğunu savunmuşlardır. Bu amaçla çelik panel soğutma sisteminin geometrik parametrelerini ve çalışma şartlarını ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanarak etüt etmişler, verimli çalışma için nelerin gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Xie and Cheng (2010), yaptıkları çalışmada, panel soğutucu önündeki koruyucu katman tabakasının kaybolması ve fırın içerisindeki ani hareketler oluşması neticesinde soğutucunun çok yüksek ısı yüküne maruz kaldığını belirtmişlerdir. Bu amaçla yapmış oldukları analizlerde koruyucu katman tabakasını ihmal ederek sıcak gazların soğutucu ile direk temasa geçtiği kabulü ile hareket etmişlerdir. Analizlerin sonucunda, yüksek ısı yükünün mekanik etkilerini yorumlayarak soğutuculardaki mekanik hasarların muhtemel nedenlerini ortaya koymuşlardır.

Zhang et al. (2011), yüksek fırın geometrisinin şarj malzemesi hareketi ile basınç alanına etkilerini DEM (Discrete Element Method) kullanarak analiz etmişlerdir. Gövde açısının azalması ile malzeme hızının arttığını, parçacıkların kendi içinde ya da parçacıklarla duvar arasındaki basıncın azaldığını gözlemlemişlerdir. Fakat özellikle bu çalışma kapsamında analiz edilen 75°'lik gövde açısının kullanılması durumunda kok ile cevherin birbirine karışma riski olduğundan gövde açısının 80° civarında kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında 68°, 78° ve 88° karın açıları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Karın açısının azalması hem duvar ile parçalar arasındaki, hem de parçaların kendi arasındaki basıncı artırırken, malzeme hareketini azaltmaktadır. Zhang et al. Şekil 1.16'da görüleceği üzere fırın duvarındaki basıncın en fazla 68°'lik açıda olduğunu, malzeme hareketi ile refrakterlerin hızlı

bir şekilde aşınacağını, karın açısının 88° olduğu durumda yukarı çıkan gazın alan darlığından dolayı problem oluşturacağını ifade etmişlerdir. Sonuç olarak en uygun karın açısının 78° olduğunu savunmuşlardır.



Şekil 1.16 Farklı karın açısı değerleri için fırın duvarındaki basınçlar (Zhang et al. 2011).

Wu and Cheng (2012), panel soğutucuların önündeki koruyucu katmanın düşmesi ile soğutucuların çok yüksek ısı yüküne maruz kaldığını, soğutucu dayanımının düştüğünü ve bunun sonucunda fırın ömrünün kısaldığını ifade etmişlerdir. Bu amaçla koruyucu katman tabakasını da barındıran matematiksel model ortaya koymuşlardır. Bu modele göre hesapladıkları değerleri endüstriyel yüksek fırından aldıkları değerler ile karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Zhang (2013), fırınlardaki soğutma sistemlerinin en fazla karın, bel ve alt gövde bölgesinde zarar gördüğünü belirtmiştir. Bunun ise en önemli nedeninin soğutma sistemi önündeki koruyucu katman tabakasının kaybı ile bu bölgenin hem çok yüksek ısı yüküne hem de şarj malzemesinin mekanik aşındırmasına maruz kalması olduğunu ifade etmiştir. Koruyucu katman tabakasının oluşumunun kolaylaşması için karın bölgesinin açısının azaltılması ve soğutma sisteminin veriminin artması gerektiğini savunmuştur. Bu amaçla karın bölgesi açısını 80° olarak belirlemiş, panel soğutma sistemini karın bölgesinde çift sıra soğutma borusunu ihtiva eden küresel grafitli dökme demir soğutma panelleri olarak belirlemiştir.

Cheng et al. (2007), yüksek fırınlardaki soğutucu önündeki koruyucu katman tabakasının fırın servis ömrünü önemli miktarda artırdığını ifade etmişlerdir. Bu tabakanın kalınlığının en uygun

değerde olmasının önem arz ettiğini, çok kalın olduğu durumda fırın çalışmasının olumsuz etkileneceğini, çok ince olması durumunda ise soğutucunun yüksek ısı yüküne maruz kalacağını belirtmişlerdir. Bu amaçla geliştirdikleri modeli endüstriyel bir yüksek fırına uygulamışlardır.

Curudu et al. (1998) fırın şarj malzemesinin operasyon esnasındaki 1mm/s hızıyla, 15 senelik bir yüksek fırın ömründe yaklaşık 380 km yol alacağını belirtmişlerdir. Katı haledeki fırın şarj malzemesinin ve fırının tepesine doğru hareket eden gaz içerisindeki kok parçalarının abrazyon aşınmasına neden olduğunu ve fırının iç cidarına zarar verdiğini savunmuşlardır.

BÖLÜM 2

BAKIR PANEL SOĞUTUCULARINDA ERKEN AŞINMA PROBLEMİ

Yüksek fırınlardaki bakır panel soğutucularının erken aşınmasının en önemli nedeni abrazyon aşınmasıdır (Cegna et al. 2014), (Laar and Engel 2015), (Wu and Cheng 2012), (Cheng et al. 2007), (Yeh et al. 2012). Bu aşınma, fırın şarj malzemesinin aşağı yöndeki hareketinden kaynaklanmaktadır. Bakır panel soğutucularının erken aşınmasının bir diğer önemli nedeni soğutucu panel sıcaklığının artmasıdır. Bakır soğutucunun temas yüzeyindeki sıcaklık 250°C'lere geldiğinde bakır sertliği önemli miktarda düşer (Copper Development Association Inc. 2017). Bu düşüş nedeniyle şarj malzemesinin hareketi kolaylıkla soğutucuyu aşındırır.

Yukarıda sunulan literatürden görüldüğü gibi, panel soğutucuların erken aşınmasındaki problemin kök nedenleri net olarak ortaya konulmuştur. Ancak kesin çözüm ortaya konulamadığından uygulamalar sınırlı kalmıştır. Sonuç olarak panel soğutucuların erken aşınma problemi halen çelik endüstrisinin en önemli sorunlarından birisidir.

Yüksek fırınlar, içerisinde otuzdan fazla kimyasal reaksiyonu, farklı malzemelerin faz değişimlerini, kütle ve ısı transferlerini barındıran oldukça karmaşık reaktörlerdir (Nogami et al. 2005). Bu karmaşıklık nedeniyle, yüksek fırına ait tüm bölge ve bunlara ait prosesleri bire bir modelleyerek erken aşınma riskini ortaya koymak oldukça zordur. Dolayısıyla aşınma riskini ortaya koyacak teorik ve deneysel, güvenilir bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Bu çalışma kapsamında Dünya Çelik Birliği'nden temin edilen 34 fırına ait yüksek fırın proses ve tasarım verileri kullanılarak karın bölgesindeki aşınma risk modeli ortaya konulmuştur (World Steel Association 2014). Bu modelin doğruluğu, hem mevcut fırınların aşınma durumu ile hem de lojistik regresyon istatistiksel veri analiz metodu kullanılarak kontrol edilmiştir.

2.1. SİLOLAR VE YÜKSEK FIRINLAR

Gövdelerine etki eden basınçları incelemek istediğimizde yüksek fırınları sabit sürekli akışa sahip silo olarak değerlendirebiliriz. Çünkü fırınlar üst bölgesinden malzeme ile sürekli olarak beslenmekte, diğer taraftan karın bölgesinden pik demir ve cüruf oluşumuyla beraber tahliye olmaktadır.

Bu bölümde silo basınçları üzerine yapılan çalışmalar, Amerikan Demir ve Çelik Derneğinin yüksek fırın gövde hesabı için önerdiği yaklaşım olan “AISE Technical Report 27” ve silo basınçları için geliştirilen Avrupa standardı “EN 1991-4:2006 Silos and Tanks” kullanılarak incelenecektir. Sonrasında silo boyut ve kesitleriyle basıncın ne şekilde değiştiği analiz edilecektir (Eurocode-1 2006), (AISE Technical Report 1984).

2.1.1. Silo Duvar Basınç Yaklaşımları

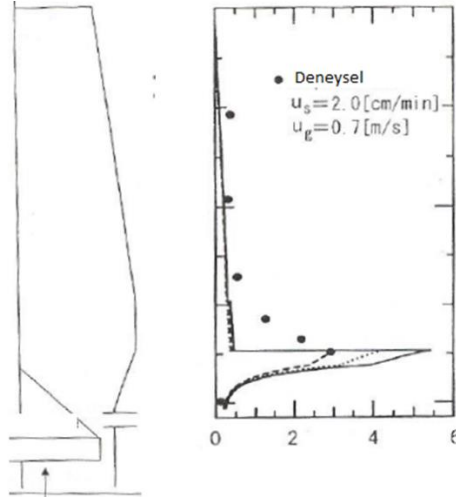
Silo duvarlarındaki basınçlara ait yaklaşımlar ve araştırmalar en temel anlamda statik (silonun doldurulması) ve dinamik (silonun boşaltılması) olmak üzere iki farklı alanda kategorize edilmiştir.

Bu konu ile alakalı ilk çalışmalardan en ünlüsü Janssen'e ait olup, ortaya koyduğu teori daire kesitli silolarda statik durumdaki duvar basıncı hesaplarını kapsamaktadır. Bu çalışma ilk defa 1895 yılında yayınlanmıştır (Singh and Monsey 1985). Janssen teorisinde, dairesel kesit boyunca malzemenin homojen dağıldığını, yanal basınç oranı olan K 'nın sabit olduğunu ve malzemenin homojen ve izotropik olduğunu kabul etmiştir.

Walker (1966) ve Walter (1967), kütleli akışa sahip silo duvarı ve hunilerdeki duvar basınçlarının statik ve dinamik durumları üzerine teorik birer yaklaşım geliştirmişlerdir.

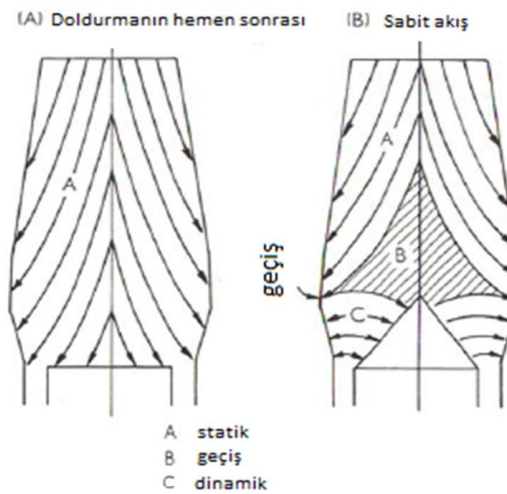
2.1.2. Silo Duvar Basınçları İçin Deneysel Yaklaşımlar

Takashi et al. (2002), deney amaçlı dizayn edilmiş bir yüksek fırında soğuk hava şartlarında fırın duvar basınçlarını incelemiştir. Bu inceleme neticesinde özellikle karın bölgesindeki kesit geçişinde çok büyük basınç artışının olduğunu gözlemlemiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Deneysel bir yüksek fırında duvar basınçları (Takashi et al. 2002).

Shimizu et al. (1982), yine deneysel bir yüksek fırında asal gerilmeleri incelemiştir. Bu inceleme sonucunda fırın karın bölgesi üzerindeki kısımda asal gerilmelerin büyük miktarda yön değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. (Şekil 2.2).

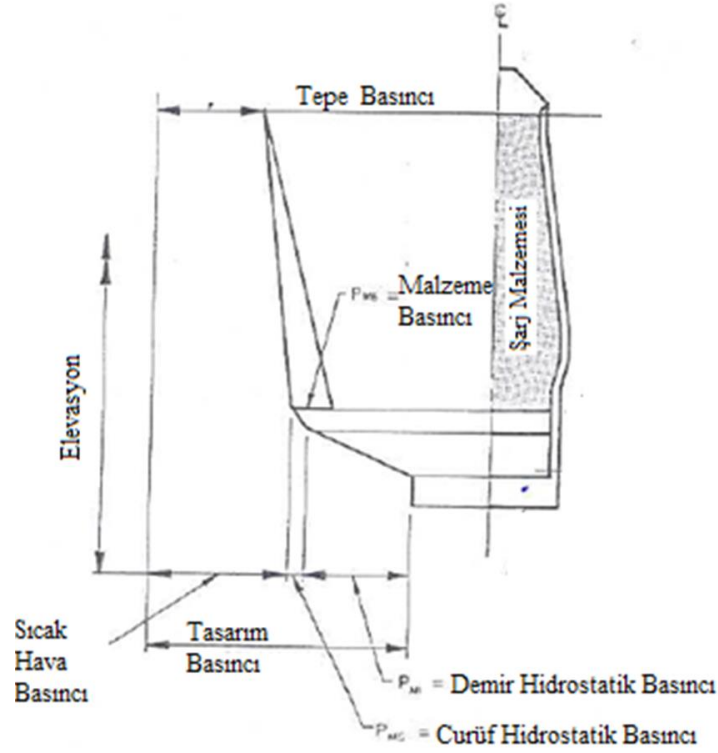


Şekil 2.2 Deneysel bir yüksek fırında asal gerilmeler (Shimizu et al. 1982).

2.1.3. AISE Teknik Rapor 27'ye göre duvar hesapları

AISE 27 numaralı teknik rapor 1984 yılında yayınlanmış olup, endüstriyel bir yüksek fırın için gövde hesaplarını içermektedir. Fırın şarj malzemesinin duvara yapmış olduğu basınç, malzemenin yüksekliği, yoğunluğu ve yanal basınç oranının çarpımı ile ifade edilmiştir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, duvar basıncı lineer bir şekilde artmaktadır.

Daha önce ifade edildiği gibi, hem teorik hem de deneysel veriler özellikle fırın kesitinin ani değiştiği bölgelerde ani basınç artışı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla AISE 27 numaralı teknik raporun bu anlamda revize edilmesi gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 2.3 AISE 27 Numaralı Teknik Rapora Göre Gövde Basınçları (AISE Technical Report 1984).

2.1.4. EN 1991-4:2006 Silo ve Tank Tasarımı

Silo ve tankların tasarım standardı olan EN 1991-4, silo ve huni gövde basınç hesap yöntemlerini ihtiva etmektedir. Yüksek fırın silo ve huniye benzetilerek, değişik tasarım parametreleri için karın bölgesindeki basınçlar incelenecektir. Bu amaçla Çizelge 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilen yüksek fırın parametreleri kullanılacaktır.

2.1.4.1. Yüksek Fırın Gövde Basınçlarının Analiz Edilmesi

Bu bölümde endüstriyel bir yüksek fırına ait veriler kullanılarak önce statik durum için, sonrasında ise dinamik durum için duvar basınç hesabı yapılacaktır. Son olarak karın açısının değişmesi ve karın yüksekliğinin artmasının basınca etkisi araştırılacaktır.

Burada şunu not etmekte fayda var; EN 1991-4 silo ve huni standardındaki granüler malzemenin duvara yaptığı basınçlar bu doktora çalışması kapsamında, karın açısı ve karın yüksekliğinin basınca etkisini analiz etmek amacıyla kullanılacaktır. Dolayısıyla tasarım standardı olarak yüksek fırın gövde sacı mukavemet analizinde direkt olarak kullanılmamalıdır.

Daha önce de ifade edildiği üzere Pomeroy (2014) doktora çalışması kapsamında fırın şarj malzemesinin duvara yaptığı basınçları incelemiştir. İşte bu bölümde de Çizelge 2.1 ve 2.2’de verilen, Pomeroy’un çalışmasındaki benzer fırın parametreleri ile EN 1991-4 silo ve huni standardı kullanılarak fırın gövde basınçları incelenecektir.

Çizelge 2.1 Endüstriyel bir yüksek fırın geometrik bilgileri.

Fırın bölümleri	Birim
Hazne Çapı	11,8 m
Bel Çapı	13,1 m
Boğaz Çapı	8,8 m
Karın Yüksekliği	3,9 m
Gövde Yüksekliği	20,2 m

Çizelge 2.2 Fırın duvar hesabı için dikkate alınan parametreler-2 (Pomeroy 2014).

Şarj ortalama özgül ağırlığı	$\gamma = 17$
Yanal basınç oranı	$K = 0,8$
Duvar sürtünme katsayısı	$\mu = 0,35$
İç sürtünme katsayısı	$\varphi_i = 30^\circ$

Hesaplarda yüksek fırının, silo ve huni kombinasyonundan oluştuğu kabul edilmiştir. Doldurma esnasındaki şarj malzemesinden kaynaklı gövde basınçları EN 1991-4, silo ve huni gövde basınç hesap standardına göre yapılacaktır.

Fırının gövdesinin siloya benzetilerek yapılacak doldurma hesaplarında Janssen karakteristik derinliği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$z_0 = \frac{1}{K_m * \mu} * \frac{A}{U} \quad (2.1)$$

Malzeme yığınının kaynaklı Janssen karakteristik değerindeki dik basınç değeri de alttaki gibidir.

$$P_{ho} = \gamma * K_m * z_0 \quad (2.2)$$

Malzemenin şev açısına bağlı oluşacak yığına ait piramidinin tabanı ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe aşağıdaki şekilde bulunur.

$$h_0 = \left[\frac{\frac{d_c}{2}}{3} \right] * \tan \varphi_r \quad (2.3)$$

Huni üst ilişki faktörü

$$n = (-1) * (1 + \tan \varphi_r) * \left[1 - \frac{h_0}{z_0} \right] \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Derinliğe bağlı basınç değişim faktörü ise

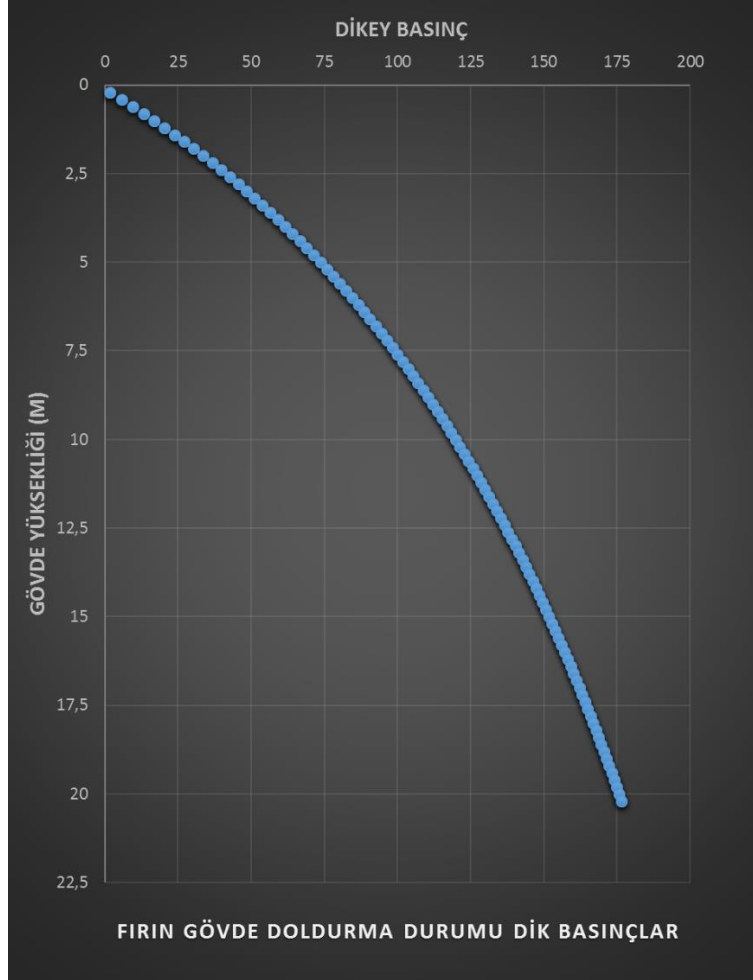
$$Y_r = 1 - \left[\frac{\left[\frac{z-h_0}{z_0-h_0} \right] + 1}{2} \right]^n \quad (2.5)$$

olacaktır. Herhangi bir yükseklikteki dikey basınç derinlik ölçüm çarpanı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$z_v(z) = h_0 - \left[\frac{1}{(n+1)} \right] * \left[z_0 - h_0 - \frac{(z+z_0-2h_0)^{n+1}}{z_0-h_0^n} \right] \quad (2.6)$$

Herhangi bir yükseklikteki dik basınç ise aşağıdaki şekilde olup, sonuçlar Şekil 2.4'te gösterildiği gibidir.

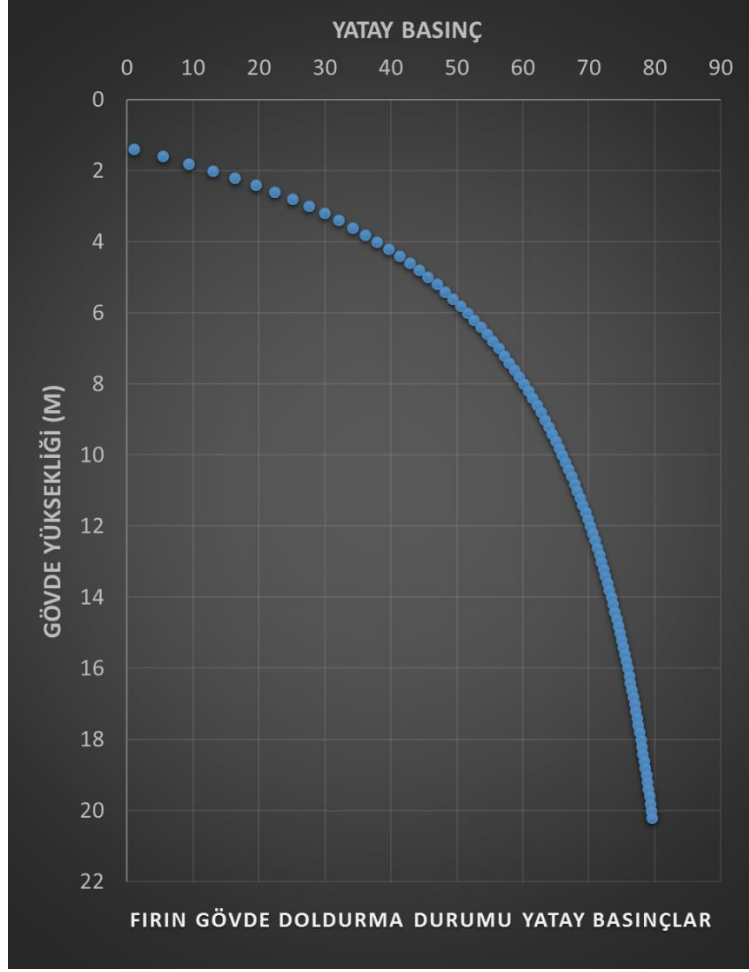
$$P_{vf} = \gamma * z_v \quad (2.7)$$



Şekil 2.4 Fırın gövde kısmındaki dikey basınçlar (kN/m²).

Herhangi bir yükseklikteki yatay duvar basıncı aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 2.5'te grafik halinde ortaya konulmuştur.

$$P_{hf} = P_{ho} * Y_r \quad (2.8)$$



Şekil 2.5 Fırın gövde kısmındaki yatay duvar basınçları (kN/m²).

Bu bölümde ise dinamik durum (boşaltma) için şarj malzemesinden kaynaklı duvar basınçları incelenecektir. Orta narinliğe sahip silolar için narinlik ayar katsayısı hesabı aşağıdaki gibidir.

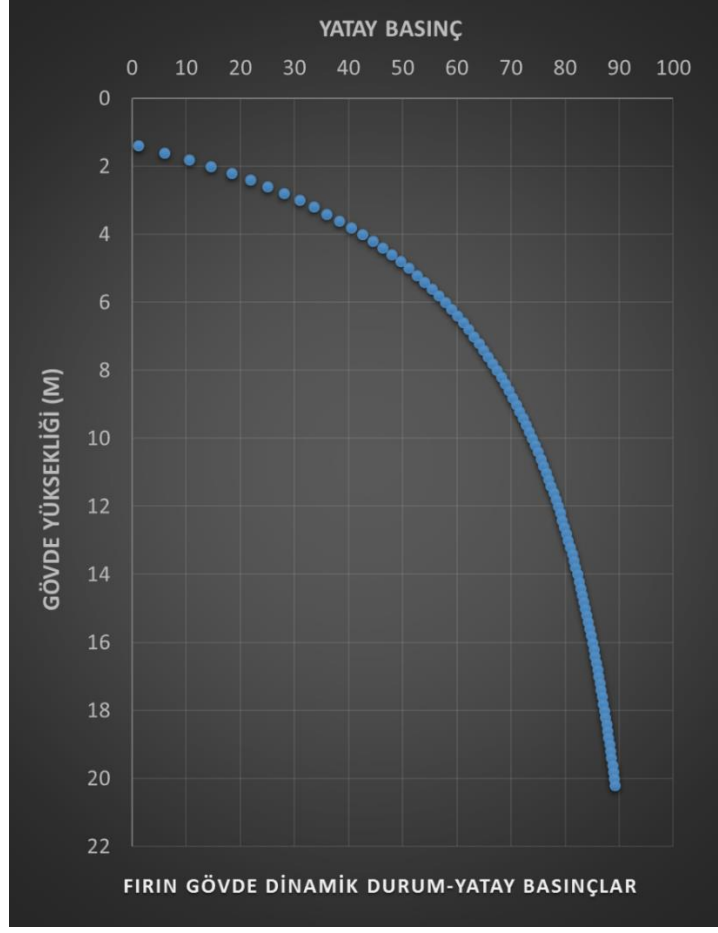
$$C_s = \frac{h_c}{d_c} - 1 \quad (2.9)$$

Yatay basınç boşaltma faktörü ise;

$$C_h = 1 + 0,15C_s \quad (2.10)$$

şeklindedir. Dinamik durumdaki duvar basınçları hesaplanırsa Şekil 2.6'daki grafik elde edilir.

$$P_{he} = C_h * P_{hf} \quad (2.11)$$



Şekil 2.6 Fırın gövde boşaltma durumu için duvar basınçları (kN/m²).

Bu bölümde ise fırın karın bölgesi huni olarak düşünülecektir. Doldurma ve boşalmaya ait her bir durum için hesaplamalar EN 1991-4 silo ve huni standardına göre yapılacaktır.

Silo ile huni arası geçiş bölgesindeki ortalama dikey basınç aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_{vft} = C_b * P_{vf} \quad (2.12)$$

Huniye ait değişik yüksekliklerindeki ortalama dikey basınç için kullanılan genel ifade de şu şekilde olacaktır.

$$P_v = \left(\frac{\gamma * h_h}{n-1} \right) * \left[\left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right] + P_{vft} * \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \quad (2.13)$$

Huni üst faktörü aşağıdaki gibidir.

$$n = S * (F * \mu_{eff} * \cot \beta_{hop} + F) - 2$$

F huni basınç oranının karakteristik değerini, β_{hop} huni açısını, S huni geometri faktörünü ve μ_{heff} ise efektif karakteristik huni sürtünme faktörünü vermektedir. Konik huniler için S değeri 2 olarak alınmalıdır. Dik huniler için μ_{heff} olarak, duvar sürtünme katsayısının düşük olduğu değerdir.

Boşaltma durumunda huni basınç oranı aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanacaktır.

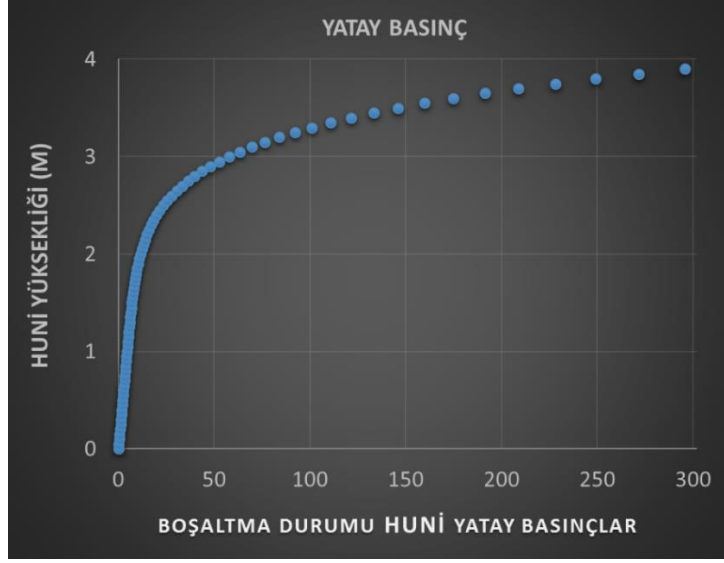
$$F_e = \frac{1 + \sin \phi_i * \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_i * \cos(2\beta + \varepsilon)} \quad (2.14)$$

Bu denklemdaki ε değeri ise aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\varepsilon = \phi_{wh} + \sin^{-1} \left[\frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_i} \right] \quad (2.15)$$

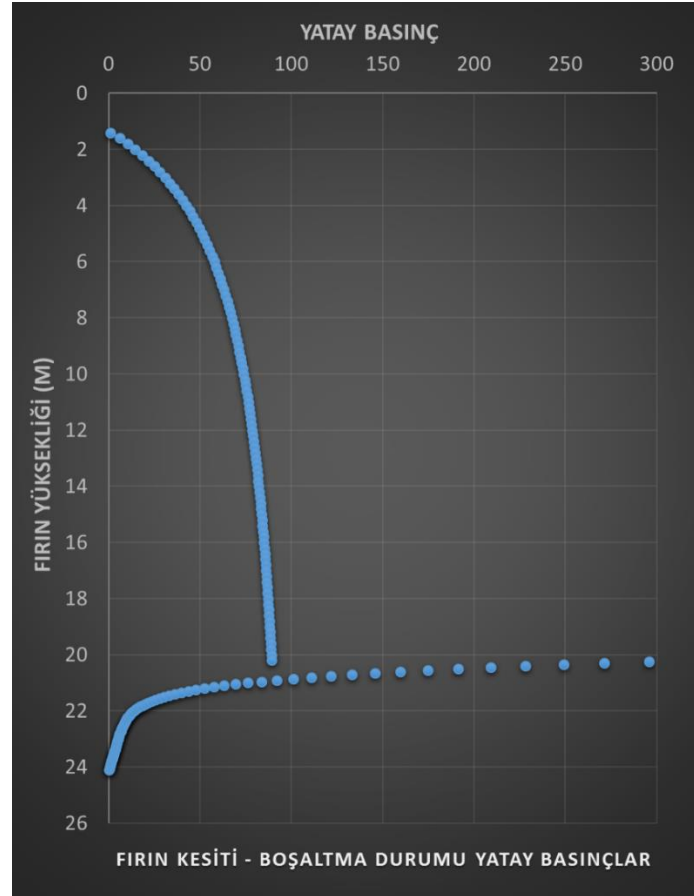
Son olarak huni boşaltma durumundaki duvar basınçları için aşağıdaki ifade kullanılmış ve sonuçlara ait grafik Şekil 2.7’de verilmiştir.

$$P_n = F_e * P_v \quad (2.16)$$



Şekil 2.7 Hunideki boşaltma durumundaki duvar basınçları (kN/m²).

Fırın gövde ve huni bölgesine etki eden yatay basınçlar Şekil 2.8’de tek bir grafik halinde aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.8 Fırın kesiti boyunca duvar basınçları (kN/m²).

Şekil 2.7 ve Şekil 2.8' de görüldüğü gibi karın ile fırın gövdesi birleşiminde duvar basınç değerleri pik yapmaktadır. Pik basınca maruz kalan bölgede koruyucu katman tabakası bulunmuyorsa, fırın şarj malzemesi aşağı yönde hareketiyle bu bölgeye ciddi zarar verebilir. Pik temas basıncı fırın profili ile direkt ilgilidir.

Bu bölümde endüstriyel bir fırının gövde kısmı siloya, karın kısmı ise huniye benzetilerek duvar basınçları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kullanılmak üzere, bu hesap modeli üzerinden silo yüksekliği, karın açısı ve karın yüksekliğinin duvar basıncına etkisi incelenmiştir.

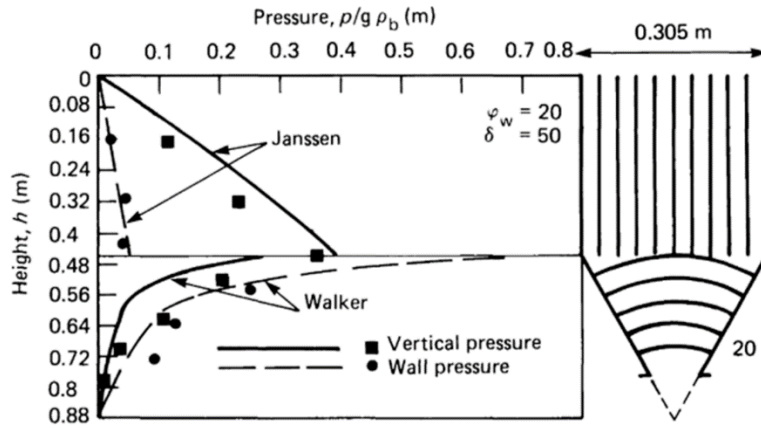
Bu inceleme sonucuna göre;

- Karın açısı düştükçe hunideki ortalama duvar basınç artmaktadır.
- Karın yüksekliği azaldıkça hunideki ortalama duvar basıncı artmaktadır.
- Silo yüksekliği arttıkça karın üzerindeki duvar basıncı artmaktadır.

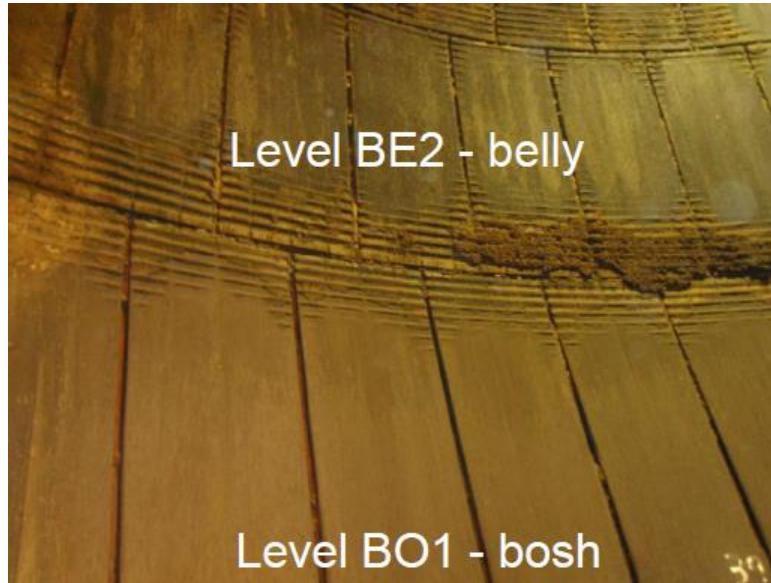
2.2. YENİ BİR YAKLAŞIM: KARIN ERKEN AŞINMA RİSK FAKTÖRÜ (BAF)

Yüksek fırınların karın bölgesindeki bakır panel soğutucular yüksek fırın ömrü için kritik rol oynarlar. Bu bölgedeki en birincil aşınma mekanizması mekanik abrazyon aşınmasıdır (Cegna et al. 2014) (Lüngen et al. 2000). Daha önce pik temas basıncının koruyucu katman tabakasının olmadığı durumda aşınmayı çok hızlı bir şekilde artırabileceğinden bahsedilmişti. Bu bölümde ise şarj malzemesinin duvara yaptığı basınca, koruyucu katman tabaka oluşumunu kolaylaştırabileceği açıdan bakılacaktır.

Şekil 2.9’da sabit akışa sahip silodaki kesit değişim bölgelerine ait basınç pikleri görülmektedir (Shamlou 1998). Burada görülen basınç piklerinin varlığı ve yüksekliği DEM analizleri ile doğrulanmıştır (Zhang et al. 2011), (Eurocode-1 2006). Şekil 2.10’da Ternium Siderar fırınına ait karın ve bel bölgesindeki soğutma panelleri görülmektedir. Burada basınç piklerinin olduğu bölgelerde koruyucu katman tabakası net olarak görülmüştür (Cegna et al. 2014). Bu bilgiye ek olarak Dünya Çelik Birliği’nden temin edilen 34 fırına ait verilerde karın açısı düştükçe aşınmanın azaldığı net bir şekilde ortaya konmuştur.



Şekil 2.9 Sabit süreklî akışa sahip silodaki duvar basınçları (Shamlou 1998).



Şekil 2.10 Ternium Siderar BF2 karın ve bel bölgesi panel soğutucuları (Cegna et al. 2014).

İşte bu tez çalışmasında, bazı literatürde savunulanların aksine, karın bölgesindeki şarj malzemesinden kaynaklı yüzey basıncının artmasının, panel soğutucu aşınmasını azaltacağı

düşünülmektedir. Hem bu düşünce hem de şarj malzeme hızının aşınmaya etkisi dikkate alınarak yüksek fırınlar karın bölgesindeki aşınma riski için yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Bu amaçla basınç ve hız fonksiyonu olmak üzere iki adet fonksiyon türetilmiştir. Oluşturulan iki fonksiyonun çarpımından bir erken aşınma risk faktörü elde edilmiştir.

$$BAF = BAF_p \times BAF_v \quad (2.17)$$

2.2.1. Karın Erken Aşınma Faktörü Basınç Foksiyonu

Karın bölgesinde yüzey basıncının artması panel soğutucu aşınmasını aşağıdaki nedenden dolayı azalttığı düşünülmüş ve yeni bir basınç fonksiyonu ortaya konulmuştur.

- Karın bölgesindeki şarj malzemesinin uyguladığı basınç nedeniyle malzeme geometrik boşluklara, pürüzlere ve sürekli olmayan kısımlara nüfuz eder. Bu etki nedeniyle aşağı yönde hareket eden şarj malzemesine karşı kuvvet oluşturarak panel yüzündeki malzeme hareketini yavaşlatır ya da durdurur. Aynı zamanda bu etki koruyucu katman tabakasının oluşumu kolaylaştırılır. Korucuyu katman tabakası da bilindiği gibi panel soğutucuyu abrazyon aşınmasından korur.

BAF_p fonksiyonunun oluşumunda karın bölgesinin alanı, açısı, malzeme yoğunluğu dikkate alınmıştır. Şarj malzemesinin tüm yükünün direk karın alanına ve tüyer bölgesine etki ettiği varsayılmıştır. Bu bölgedeki kohezif katman nedeniyle yük karın alanına bölünmüştür. Karın bölgesinin açısının 90° olduğu durumda hem katı davranışı nedeniyle hem de tüm yükü bu durumda tüyer uçlarının taşıyacağı varsayımı ile fonksiyona karın açısının kosinüsü eklenmiştir.

Sonuç olarak BAF_p fonksiyonu aşağıda şekli almıştır.

$$BAF_p(H_t, \beta_{karın}, \emptyset_{belly}^2, A_{karın}, \rho) = \frac{H_t \times \cos \beta_{karın} \times \emptyset_{bel}^2 \times \rho \times 100}{A_{karın}} \quad (2.18)$$

$$BAF_p = \frac{H_t \times \cos \beta_{karın} \times \emptyset_{bel}^2 \times \rho \times 100}{A_{bosh}} \quad (2.19)$$

2.2.2. Karın Erken Aşınma Faktörü Hız Foksiyonu:

Şarj malzemesinin hızının düşmesi abrazyon aşınmasını azaltacağından panel soğutucudaki aşınmayı azaltır. Buna ek olarak yavaşlayan malzeme, panel soğutucu tarafından çok daha verimli bir şekilde soğutulacağı için koruyucu katman tabakası oluşumu kolaylaşır.

BAF_v fonksiyonunda bel bölgesindeki ortalama hız dikkate alınmıştır. Fırın üretim verimliği ile fırın çalışma hacmi çarpılarak bir günde fırına şarj edilen malzeme bulunmuştur. Bu malzeme bel bölgesi alanına bölünerek ortalama hız hesaplanmıştır. Bu fonksiyon risk fonksiyonunda çarpım şeklinde kullanılacağından ortalama hız fonksiyonu paydaya alınmıştır.

Özellikle gözlemek istediğimiz fırın duvar bölgesindeki hız olduğu için fonksiyona karın açısının kosinüsü eklenmiştir. Dolayısıyla açının 90° olduğu durumda fırın duvarında hızın en büyük değere ulaşacağı, azalan açılarda ise malzemenin hızının azalacağı kabul edilmiştir.

Sonuç olarak hız fonksiyonu aşağıdaki şekli almıştır.

$$BAF_v(\beta_{karın}, \varphi_{çalışma}, V_{çalışma}, \emptyset_{belly}) = \frac{\cos\beta}{v_{bel}} \quad (2.20)$$

$$BAF_v = \frac{\cos\beta}{v_{bel}} \quad (2.21)$$

Bel bölgesindeki ortalama hız $v_{bel} = \frac{\varphi_{çalışma} \times V_{çalışma}}{\emptyset_{bel}^2 \times \rho}$ şeklinde ifade edilmiştir. Bunu Denklem 2.20'de yerine koyduğumuzda BAF_v fonksiyonu aşağıdaki şekli alacaktır:

$$BAF_v = \frac{\cos\beta_{karın}}{\frac{\varphi_{çalışma} \times V_{çalışma}}{\emptyset_{bel}^2 \times \rho}} \quad (2.22)$$

2.2.3. Karın Bölgesi Erken Aşınma Faktörü

Denklem 2.19 ve 2.22 genel ifade olan Denklem 2.17'de yerine konulduğunda karın bölgesi erken aşınma faktörü aşağıdaki şekilde elde edilecektir:

$$BAF = \frac{H_t * \cos \beta_{karın} * \emptyset_{bel}^2 * \rho * 100}{A_{karın}} \times \frac{\cos \beta_{karın}}{\frac{\varphi_{çalışma} V_{çalışma}}{\emptyset_{bel}^2 * \rho}} \quad (2.23)$$

Kullanım kolaylığını artırmak amacıyla $H_t * \cos \beta_{karın} * \emptyset_{bel}^2 \cong V_{çalışma}$ kabulü yapılabilir. Buna ilave olarak, ρ tüm fırınlar için aynı kabul edildiği için denklemden çıkarılabilir. Bu durumda ulaşılan sadeleştirilmiş denklem aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$BAF_{v.1} = \frac{\cos \beta_{karın}^2 * \emptyset_{bel}^2}{A_{karın} * \varphi_{çalışma}} \quad (2.24)$$

2.2.4. BAF Fonksiyonunun Deneysel Yolla Analiz Edilmesi

Dünya Çelik Birliği'nden temin edilen 34 fırının deneysel veriler kullanılarak, bu fırınlara ait BAF ve BAF_v.1 fonksiyonları elde edilmiştir (World Steel Association 2014). Sonuçlar fırınların mevcut aşınma durumlarına göre ve servis ömürlerine göre sınıflandırılarak yorumlanmıştır. Fırınlar ömürlerine göre üç gruba ayrılmıştır;

- Grup-1: Aşınma görülmeyen 10 yıldan fazla ömre sahip fırınlar
- Grup-2: Aşınma görülmeyen 10 yıldan az ömre sahip fırınlar
- Grup-3: Aşınma görülen ve 10 yıldan az ömre sahip fırınlar

Çizelge 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7'de bu fırınlara ait teknik veriler görülmektedir.

Çizelge 2.3 Aşınma görülmeyen 10 yıldan fazla ömre sahip fırınlar- Grup-1.

No:	YF_01	YF_04	YF_09	YF_14	YF_18	YF_19	YF_31
Aşınma	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Devreye Giriş	07.2001	12.1999	07.1998	08.2000	10.2004	08.2001	10.2003
H_t (m)	2.000	3.850	1.500	2.600	2.000	3.271	1.945
$\emptyset_{boğaz}$ (m)	9.515	6.400	6.300	8.900	9.400	9.900	8.3
$H_{gövde}$ (m)	15.910	14.800	15.000	15.500	17.627	17.240	15.66
$\beta_{gövde}$ (°)	83.000	84.020	82.612	81.200	82.800	81.123	81.24
H_{bel} (m)	2.140	2.200	2.170	2.400	2.495	2.510	2.7
\emptyset_{bel} (m)	13.630	9.500	10.534	13.600	14.756	15.500	13.37
$H_{karın}$ (m)	3.330	3.060	3.730	3.200	3.167	3.200	3.200
$\beta_{karın}$ (°)	71.000	72.200	70°67'	71.300	68.000	60.000	72.000
$V_{çalışma}$ (m³)	2434	1222	1347	2490	3144	3525	2350

Çizelge 2.4 Aşınma görülmeyen 10 yıldan az ömre sahip fırınlar - Grup-2.

No:	YF_08	YF_12	YF_13	YF_15	YF_16	YF_20
Aşınma	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Devreye Giriş	05.2010	05.2008	08.2006	07.2009	09.2011	10.2006
H_t (m)	2.556	2.600	1.200	2.070	2.556	2.000
$\emptyset_{boğaz}$ (m)	6.600	10.000	7.000	12.120	6.600	10.900
$H_{gövde}$ (m)	14.389	17.000	12.000	17.500	14.389	19.700
$\beta_{gövde}$ (°)	82.900	81.283	82.200	79.010	82.900	83.000
H_{bel} (m)	2.005	2.500	2.800	1.800	2.005	2.000
\emptyset_{bel} (m)	9.980	16.000	10.000	17.900	9.980	15.070
$H_{karın}$ (m)	2.640	3.650	3.000	4.370	2.640	2.900
$\beta_{karın}$ (°)	66.000	74.000	71.000	71.580	66.000	80.000
$V_{çalışma}$ (m³)	1212	3765	1145	4777	1212	3821

Çizelge 2.5 Aşınma görülmeyen 10 yıldan az ömre sahip fırınlar - Grup-2 devamı.

No:	YF_25	YF_26	YF_27	YF_28	YF_32	YF_33	YF_34
Aşınma	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Devreye	02.2009	05.2009	02.2009	07.2010	10.10	04.2012	05.2008
H_t (m)	2.05	1.144	1.57	3	2	1.6	1.6
$\emptyset_{boğaz}$ (m)	10.8	8.2	9.6	8.5	8.6	9.5	9.5
$H_{gövde}$ (m)	17.8	17.745	17.6	15.5	17.00	17.45	17.45
$\beta_{gövde}$ (°)	81.060	81.6	81.020	70.010	82.100	81.413	81.413
H_{bel} (m)	2.4	1.76	3	2.6	2.69	2.1	2.1
\emptyset_{bel} (m)	16.6	12.385	15.16	15.52	14.41	14.7	14.7
$H_{karın}$ (m)	4.400	3.690	3.500	3.300	3.43	3.95	3.95
$\beta_{karın}$ (°)	78.000	77.072	71.360	69.000	78.000	71.338	71.338
$V_{çalışma}$	4254	2206	3361	3062	2851	3117	3117

Çizelge 2.6 Aşınma görülen ve 10 yıldan az ömre sahip fırınlar- Grup-3.

No	YF_02	YF_03	YF_05	YF_06	YF_07	YF_10	YF_11
Aşınma	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Devreye Giriş	09.2011	06.2010	10.2010	01.2006	05.2005	01.2008	11.2007
H_t (m)	2.600	2.000	2.070	1.800	1.570	2.600	3.600
$\emptyset_{boğaz}$ (m)	9.480	8.200	11.100	8.900	11.300	9.480	11.620
$H_{gövde}$ (m)	17.250	17.100	17.500	16.600	17.700	17.250	17.500
$\beta_{gövde}$ (°)	83.040	83.160	79.010	81.440	80.540	83.040	80.590
H_{bel} (m)	2.860	2.400	1.800	2.400	2.000	2.860	1.800
\emptyset_{bel} (m)	13.740	12.300	17.800	13.900	15.900	13.740	16.300
$H_{karın}$ (m)	3.710	4.800	4.400	4.600	4.000	3.710	4.400
$\beta_{karın}$ (°)	79.000	75.290	75.353	76.640	85.820	79.000	77.200
$V_{çalışma}$ (m ³)	2974	2298	4571	2803	3998	2974	4301

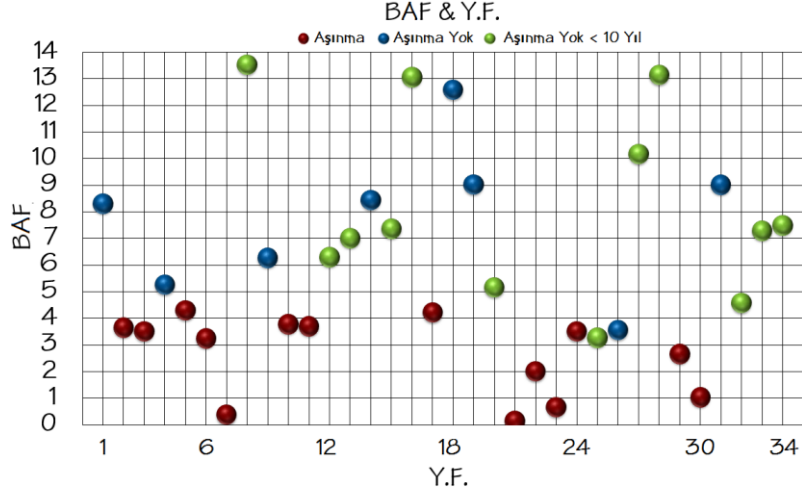
Çizelge 2.7 Aşınma görülen ve 10 yıldan az ömre sahip fırınlar- Grup-3 devamı.

No:	YF_17	YF_21	YF_22	YF_23	YF_24	YF_29	YF_30
Aşınma	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Devreye	02.2007	05.2006	08.2009	10.2007	01.2010	12.2001	09.2003
H_t (m)	1.700	1.500	2.100	2.740	3.2	0	1.945
$\emptyset_{boğaz}$ (m)	9.400	10.100	8.764	7.660	11.1	8.7	8.3
$H_{gövde}$ (m)	15.000	17.500	16.470	15.345	17.5	18.1	15.66
$\beta_{gövde}$ (°)	84.417	80.590	80.140	82.552	80.430	84.200	81.240
H_{bel} (m)	2.410	1.950	2.500	1.65	2	2.418	2.7
\emptyset_{bel} (m)	12.800	15.900	14.532	11.440	17	12.674	13.37
$H_{karın}$ (m)	3.900	4.000	4.508	2.425	4.800	2.920	3.200
$\beta_{karın}$ (°)	74.400	76.640	80.000	85.356	77.090	80.000	72.000
$V_{çalışma}$	2332	3680	3029	1568	4469	2285	2350

Yukarıdaki veriler doğrultusunda BAF ve $BAF_{v.1}$ fonksiyonlarına ait değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile fırın numaraları Excell paket programına her gruba ayrı bir seri ve renk atanarak aktarılmıştır.

Şekil 2.11’de 34 farklı yüksek fırına ait BAF değerleri görülmektedir. Bu grafikteki x eksenini yüksek fırın numaralarını, y eksenini ise her bir fırına ait hesaplanmış BAF değerlerini ifade etmektedir. Grafikte, Grup-1 mavi, Grup-2 yeşil ve Grup-3 kırmızı işaretçiler ile gösterilmiştir. Grup-1’in ortalama değeri 7.8, Grup-3’ün ise ortalama değeri 2.6 olarak elde edilmiştir.

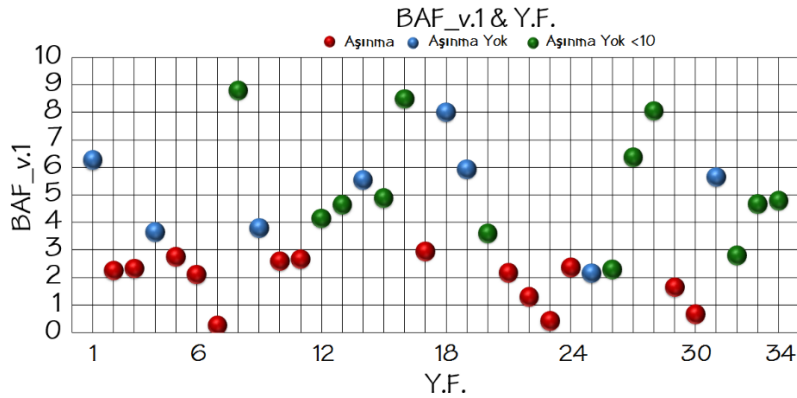
Grafikten de anlaşılacağı üzere, bu guruplara ait BAF değerlerinde açık bir ayrışma görülmektedir. Bu durum, fırınlardaki aşınma riskinin BAF fonksiyonu ile başarılı bir şekilde tahmin edildiğini ortaya koymuştur.



Şekil 2.11 Fırınlara ait BAF değerleri.

Diğer yandan BAF formülünün sadeleştirilmiş hali olan $BAF_{v.1}$ fonksiyonunun her bir fırın için hesaplanmış değerleri Şekil 2.12’de verilmiştir. Yine bu grafikte de mavi işaretçiler Grup-1’i, yeşil işaretçiler Grup-2’yi ve kırmızı işaretçiler ise Grup-3 fırınlarını göstermektedir.

Grafikteki ortalama değerler hesaplanmış; Grup-1 için 5.1 ve Grup-3 için 1.9 bulunmuştur. Dolayısıyla $BAF_{v.1}$ fonksiyonu da fırınlardaki aşınma durumunu başarılı bir şekilde tahminleyebilmiştir.



Şekil 2.12 Fırınlara ait $BAF_{v.1}$ değerleri.

BÖLÜM 3

LOJİSTİK REGRESYON ANALİZLERİ

Son yıllarda bağımsız değişkenler ile buna bağlı değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade etmek amacıyla regresyon modelleri çokça kullanılmaktadır. Bu modellerden olan lineer regresyon modelinde bağımlı değişken süreklidir (Hosmer and Lemeshow 2000). Diğer taraftan lojistik regresyon modelinde ise bağımlı değişken kategoriktir ve 0 ya da 1 olarak kodlanır (Whitehead 2017).

Bu bölümde Dünya Çelik Birliği'nden temin edilen 34 farklı yüksek fırın verileri kullanılarak fırın operasyon ve tasarım parametrelerinin aşınmaya etkileri incelenecektir. Bu incelemede bağımlı değişken “aşınma var” ve “aşınma yok” şekilde kategorik olduğu için lojistik regresyon modeli kullanılacaktır. “aşınma var” durumu “1” ile, “aşınma yok” durumu ise “0” ile temsil edilecektir.

3.1. REGRESYON İSTATİSTİKSEL ANALİZ METODLARI

Lineer regresyon tahmin modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$Y = a + BX + e \quad (3.1)$$

Burada Y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, a sabit değer, B bağımsız değişkenin katsayısı ve e hata olarak ifade edilmektedir.

Bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumlarda, lineer regresyon modelleri kullanılırsa aşağıdaki 3 problemle karşı karşıya kalınır.

1. Hata terimi değişken varyansa sahip olur
2. Hata terimi normal dağılım göstermez
3. Olasılık değeri 0' dan küçük, 1' den büyük değer alabilir.

Yukarıdaki problemleri aşmak amacıyla logit modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumlarda, bağımsız değişkenle arasındaki ilişkiyi başarılı bir şekilde temsil etmektedir.

$$\ln[p/(1-p)] = a + BX + e \quad (3.2)$$

Lojistik modeller, esasında lineer regresyon modellerinin lineer olmayan transformudur. Lojistik dağılım ise S şeklinde olup standart normal dağılıma benzemektedir.

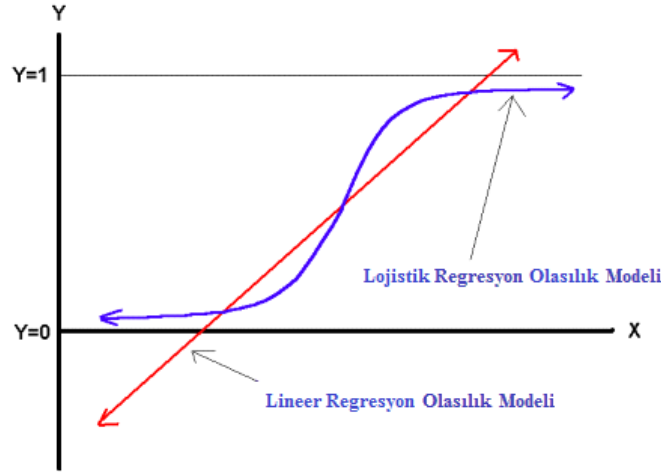
Denklem 3.2’de yer alan p yalnız bırakılırsa, olasılık fonksiyonu aşağıdaki şekli alır.

$$p = 1/[1 + \exp(-a - BX)] \quad (3.3)$$

Bu denkleme göre $a + BX$ ifadesi 0’a eşit ise olasılık fonksiyonu 0,5 değerini alacaktır.

Buna ek olarak; $a + BX$ değeri $+\infty$ ’a giderken 1, $-\infty$ ’a giderken ise 0 olacaktır.

Şekil 3.1, bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumda, lineer regresyon modeli ile lojistik regresyon modeli arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 3.1 Lineer Regresyon Tahmin Modeli ile Lojistik Regresyon Tahmin Modelinin Karşılaştırılması (Whitehead 2017).

Şekil 3.1.’deki x eksenini bağımsız değişkeni, y eksenini ise bağımlı değişkeni göstermektedir. Kırmızı renk lineer regresyon olasılık modelini, mavi renk ise lojistik regresyon tahmin

modelini ifade etmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumlarda lineer olasılık modelinin kullanımı uygun değildir. Şekil 3.1’ de görüleceği üzere lineer olasılık modelinde, bağımlı değişkenlerin bazıları 0’ın altına inmiş ve 1’in üzerine çıkmıştır. Diğer yandan ise lojistik regresyon modelinde olasılık değerleri 0 ile 1 arasında kalmıştır.

3.2. TASARIM PARAMETRELERİNİN LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİ

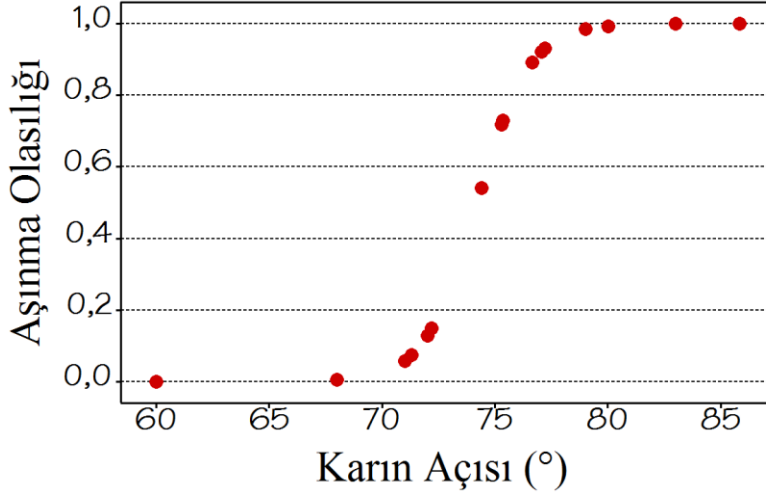
Tasarım parametreleri olarak karın açısı, karın yüksekliği, hazne çapı, bel çapı, bel yüksekliği, gövde yüksekliği, gövde açısı, boğaz yüksekliği, boğaz çapı, tüyer ile karın başlangıcı arasındaki mesafe ve fırın çalışma hacminin etkileri analiz edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre;

- Karın açısı, karın yüksekliği, hazne çapı, boğaz çapının panel soğutucu aşınması ile güçlü ilişkisi ortaya vardır.
- Bel çapı, gövde yüksekliği ve çalışma hacmi ile aşınma arasında ise normal ilişkisi gözlemlenmiştir.

Şekil 3.2’de görüleceği üzere istatistiksel olarak karın açısı arttıkça panel soğutucu aşınma ihtimali artmaktadır ve aralarında güçlü bir ilişki vardır. Bunun nedenleri aşağıdakiler olabilir;

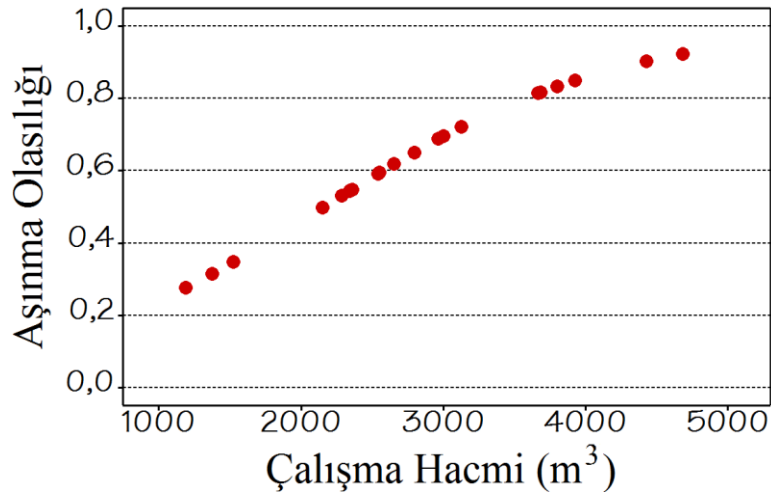
- Düşük karın açısına sahip fırın profilinde karın bölgesindeki şarj malzemesi hızı daha düşüktür. Bu nedenle aynı soğutma kapasitesine sahip panel soğutucu hemen önündeki şarj malzemesini temas süresi uzadığı için daha çok soğutur. Buna ek olarak tüyer açısının azalması nedeniyle karın bölgesi tüyer etki alanından uzaklaşır ve maruz kaldığı ısı yükü düşer. Bu iki etki, koruyucu katman tabakası oluşumunu kolaylaştırır.
- Fırın karın bölgesini huni olarak düşünürsek; karın açısı arttıkça karon bölgesi dik huni karakteristiğinden daha ziyade dik huni karakteristiği gösterir. Bunun neticesinde hem akış hızı artar hem de pik basınçlar yükselir (Eurocode-1 2006).



Şekil 3.2 Karın açısının aşınmaya etkisi.

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere çalışma hacminin artması panel soğutucu aşınma olasılığını artmaktadır ve aralarında normal bir ilişki vardır. Bu sonucun bir nedeni aşağıdaki ifade olabilir;

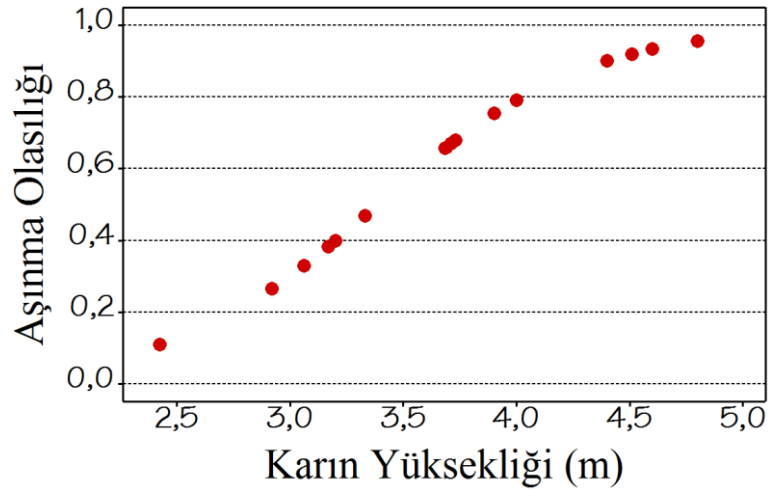
- Hazne çapına bağlı çalışma hacmi artma oranı, yine hane çapına bağlı bel bölgesindeki kesit alanının artma oranından fazladır. Dolayısıyla, V_{bel} ile temsil edilebilecek bel bölgesindeki ortalama hız, çalışma hacmi arttıkça artar. Bu etki nedeniyle şarj malzeme davranışı statik taraftan dinamik tarafa kayarak profil geçiş bölgelerindeki pik basınçları artırır. Sonuç olarak hem hızın artması hem de pik basıncın yükselmesi nedeniyle panel soğutucuların abrazyon aşınma olasılığı artar.



Şekil 3.3 Çalışma hacminin aşınmaya etkisi.

Şekil 3.4'te görüleceği üzere karın yüksekliğinin artması ile aşınma ihtimali artmaktadır ve aralarında güçlü bir ilişki vardır. Bu sonucun iki nedeni aşağıdaki açıklamalar olabilir;

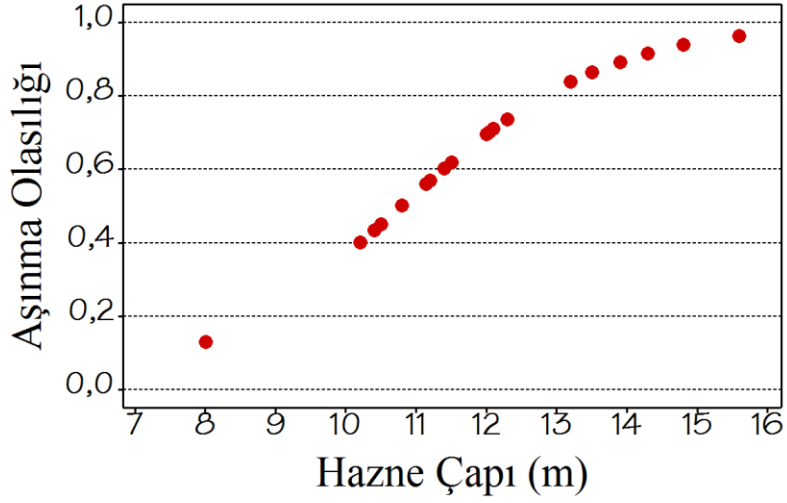
- Karın yüksekliği hazne çapı, bel çapı ve karın açısının bir fonksiyonudur. Aynı çalışma hacmine sahip fırınlarda karın yüksekliğinin artması çoğunlukla karın açısının yükselmesi anlamına gelir. Dolayısıyla, daha önce de ifade edildiği üzere karın açısının artması aşınma ihtimalini artırmaktadır.
- Fırın tasarımındaki kurallar gereği hazne yüksekliğinin artması ile çalışma hacmi artmaktadır. Dolayısıyla daha öncede ifade edildiği üzere, hacmin artması ile bel bölgesindeki ortalama hızın artması ve buna bağlı olarak fırın profil geçiş bölgelerindeki pik basınçlar yükselmesi neticesinde abrazyon aşınma olasılığı artmaktadır.



Şekil 3.4 Karın yüksekliğinin aşınmaya etkisi.

Hazne çapı ile panel soğutucu arasındaki aşınma ilişkisini gösteren lojistik regresyon sonuçları Şekil 3.5'te verilmiştir ve aralarında güçlü bir ilişki vardır. Bu sonuçlara göre hazne çapı arttıkça aşınma ihtimali artmaktadır. İki neden bu sonuca etki etmiş olabilir;

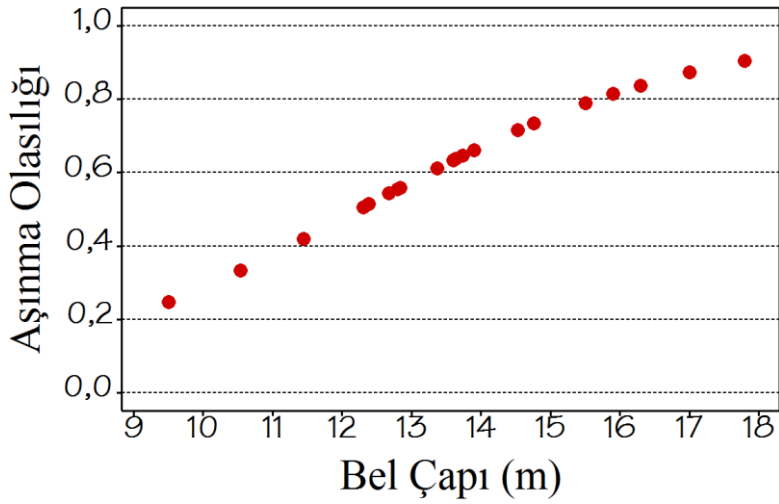
- Hazne çapı arttıkça çalışma hacmi artacaktır. Dolayısıyla bu değişikliğin aşınma ile ilişkisi çalışma hacminin artması gibi değerlendirilebilir.
- Aynı hacme sahip fırınlarda hazne çapının artması ile karın açısı yükselecektir. Daha öncede ifade edildiği gibi karın açısının artması aşınma ihtimalini artıracaktır.



Şekil 3.5 Hazne çapının aşınmaya etkisi.

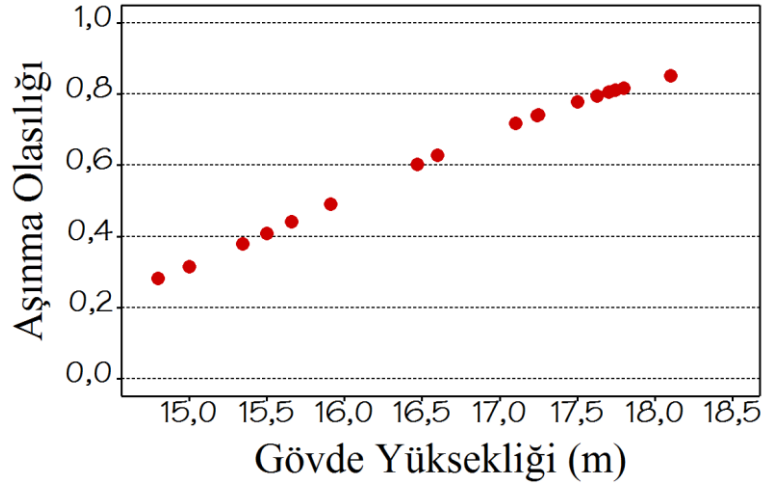
Şekil 3.6'daki bel çapı ile panel soğutucu arasındaki aşınma ilişkisini gösteren lojistik regresyon sonuçlarına göre bel çapı arttıkça aşınma ihtimali artmaktadır ve aralarında normal bir ilişki vardır. Bu sonuca aşağıdaki neden etmiş olabilir;

- Bel çapının artması genellikle çalışma hacminin artması anlamına gelir. Bu etki çalışma hacminin artmasıyla aynı şekilde değerlendirilebilir.



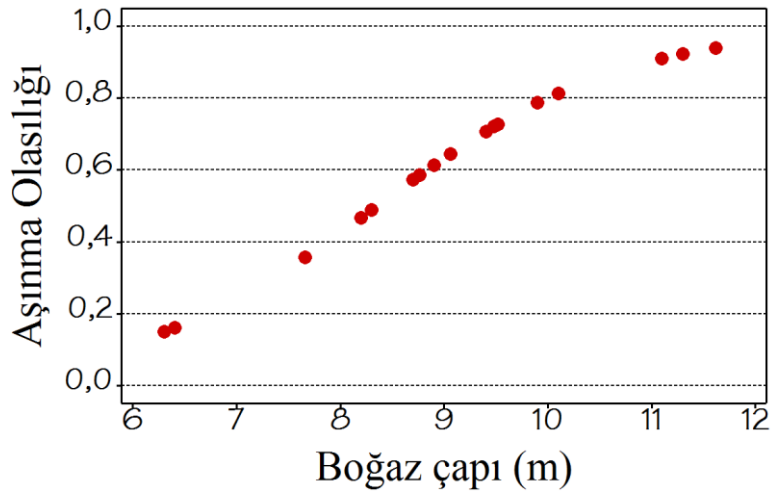
Şekil 3.6 Bel çapının aşınmaya etkisi.

Lojistik regresyon analizi sonuçlarına göre gövde yüksekliği ile aşınma arasında normal bir ilişki vardır. Şekil 3.7’de görüleceği üzere gövde yüksekliği arttıkça aşınma ihtimali artmaktadır. Bel çapının artması genellikle çalışma hacminin artması anlamına gelir. Dolayısıyla muhtemel sebep çalışma hacminin artmasıyla aynı şekilde değerlendirilebilir.



Şekil 3.7 Bel çapının aşınmaya etkisi.

Bel çapı ile aşınma arasında lojistik regresyon analizi sonuçlarına güçlü bir ilişki vardır. Şekil 3.8’de görüleceği üzere boğaz çapı arttıkça aşınma ihtimali artmaktadır. Yüksek fırın kurallarının göre hazne çapına bağlı olarak boğaz çapı arttıkça, yine hazne çapına bağlı olarak çalışma hacmi artar. Dolayısıyla bu sonuca etki eden neden çalışma hacminin artması ile aynı şekilde değerlendirilebilir.

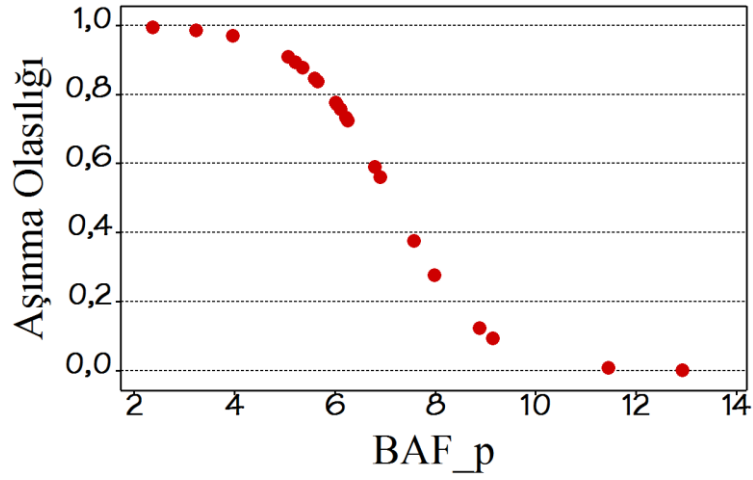


Şekil 3.8 Bel çapının aşınmaya etkisi.

3.3 BAF VE ALT FONKSİYONLARININ LOJİSTİK REGRESYON ANALİZİ

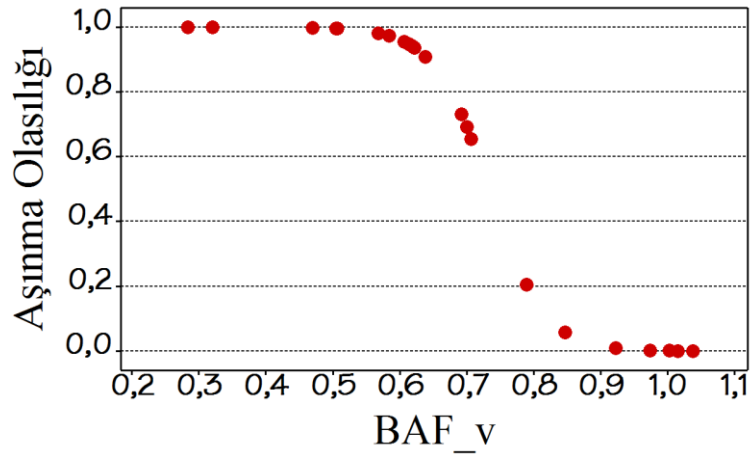
Bu bölümde BAF ve alt fonksiyonlarının lojistik regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar BAF ve diğer fonksiyonlarının, erken aşınma olasılığı ile güçlü bağlantısı olduğunu ortaya koymuştur.

Şekil 3.9'da görüleceği üzere, artan BAF_p basınç fonksiyonu ile erken aşınma riski düşmektedir.



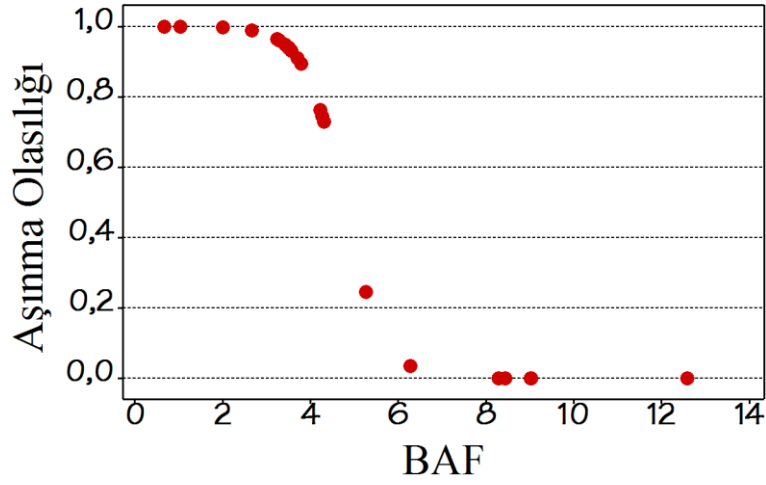
Şekil 3.9 BAF_p fonksiyonunun aşınmaya etkisi.

Şekil 3.10' da ise BAF_v hız fonksiyonunun erken aşınma riski arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Azalan hız ile aşınma olasılığı düşmektedir.



Şekil 3.10 BAF_v fonksiyonunun aşınmaya etkisi.

Şekil 3.11’de BAF fonksiyonlarının, panel soğutucular ile arasındaki ilişki gösterilmiştir. Erken aşınma risk faktörü olan BAF değerlerinin 8 üstü rakamları için aşınma olasılığı %0’dır.



Şekil 3.11 BAF’ın aşınmaya etkisi.

3.4. OPERASYON PARAMETRELERİNİN LOJİSTİK REGRESYON ANALİZLERİ

Bu bölümde operasyon parametrelerinin erken aşınmaya etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’ te gösterilen; pelet oranı, kok oranı, sinter oranı, parça cevher oranı, cüruf oranı, tüyer hızı, tüyer hızının tüyerler arasındaki mesafeye oranı, fındık kok oranı, toplam yakıt oranı, oksijen zenginleştirme oranı ve sıcak hava debisi analiz edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre tüyer hızı ve pelet oranı ile aşınma arasında güçlü ilişki gözlenmiştir. Diğer taraftan, hava miktarı ve sinter oranı ile aşınma arasında normal bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.1 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-1 (World Steel Association 2014).

No:	YF_1	YF_02	YF_03	YF_04	YF_05	YF_06	YF_07
Aşınma	0	1	1	0	1	1	1
Pelet oranı %	2,8	14,2	21,0	10,0	5,8	18,0	3,2
Kok oranı kg/tSM	375	323	370	350	304	371	338
Sinter oranı %	84,3	82,2	65,0	85,0	75,7	63,0	84,5
Parça cevher %	12,9	3,6	14,0	5,0	18,5	19,0	12,3
Cüruf oranı kg/tSM	303	305	279	320	285	267	314
Tüyer hızı m/s	204	210	213	210	284	243	266
Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap	20	18	22	29	20	22	20
Fındık kok oranı kg/tSM	30	56	19	90	41	23	140
Yakıt oranı kg/tSM	502	494	491	500	496	529	507
Yedek yakıt oranı kg/tSM	128	171	121	150	192	158	168
Oksijen zenginleştirme oranı %	3,53	2,90	1,54	4,00	9,56	3,14	7,80
Hava miktarı Nm ³ /tSM	996	960	991	1040	710	1011	793

Çizelge 3.2 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-2 (World Steel Association 2014).

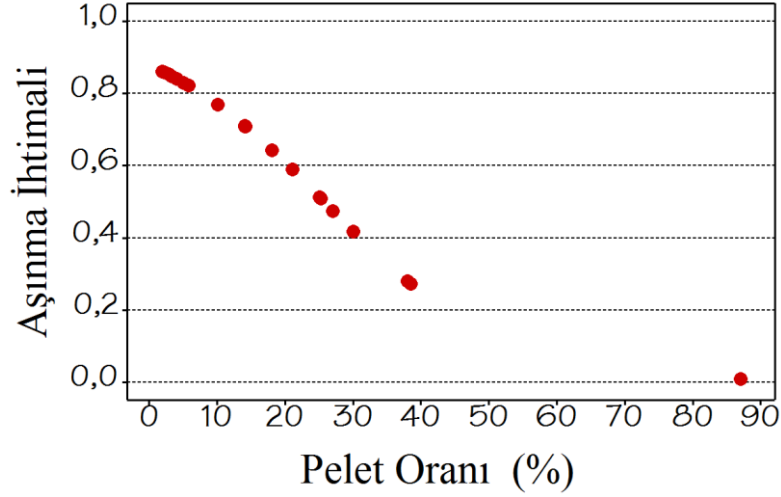
No:	YF_09	YF_10	YF_11	YF_14	YF_17	YF_18	YF_19
Aşınma	0	1	1	0	1	0	0
Pelet oranı %	25,3	14,1	1,9	87,0	25,0	38,5	14,0
Kok oranı kg/tSM	329	321	345	310	397	360	379
Sinter oranı %	62,9	82,4	85,8	0,0	35,0	45,5	67,0
Parça cevher %	17,7	3,5	12,3	0,0	40,0	16,0	19,0
Cüruf oranı kg/tSM	251	303	318	165	224	297	300
Tüyer hızı m/s	200	225	256	220	237	210	180
Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap	25	20	19	21	24	18	14
Fındık kok oranı kg/tSM	36	56	100	10	59	43	73
Yakıt oranı kg/tSM	482	502	516	460	494	452	521
Yedek yakıt oranı kg/tSM	153	181	171	150	97	92	142
Oksijen zenginleştirme oranı %	4,62	3,36	7,50	3,70	8,86	4,80	4,60
Hava miktarı Nm ³ /tSM	897	940	750	925	854	915	1014

Çizelge 3.3 Yüksek Fırın operasyon bilgileri ve aşınma durumları-3 (World Steel Association 2014).

No:	YF_21	YF_22	YF_24	YF_26	YF_29	YF_30	YF_31
Aşınma	0	1	1	0	1	1	0
Pelet oranı %	5,0	2,1	4,0	30,0	27,0	27,0	38,0
Kok oranı kg/tSM	450	374	335	420	276	264	289
Sinter oranı %	90,0	80,2	83,0	70,0	73,0	73,0	58,0
Parça cevher %	5,0	17,7	13,0	0,0	0,0	0,0	4,0
Cüruf oranı kg/tSM	330	306	300	345	274	272	251
Tüyer hızı m/s		228		220	208	213	200
Tüyer hızı/ Tüyerler	0	21	0	21	21	21	18
Fındık kok oranı kg/tSM	65	66	50	45	46	45	24
Yakıt oranı kg/tSM	480	514	492	550	505	496	479
Yedek yakıt oranı kg/tSM	30	140	157	130	229	232	190
Oksijen zenginleştirme oranı %	3,10	2,90	4,50	7,00	10,00	11,00	4,80
Hava miktarı Nm ³ /tSM	1200	985	860	1116	798	755	972

Şekil 3.12’de görüleceği üzere, pelet oranı ile aşınma arasında güçlü bir ilişki vardır. Bu sonucun bir nedeni aşağıdaki şekilde açıklanabilir;

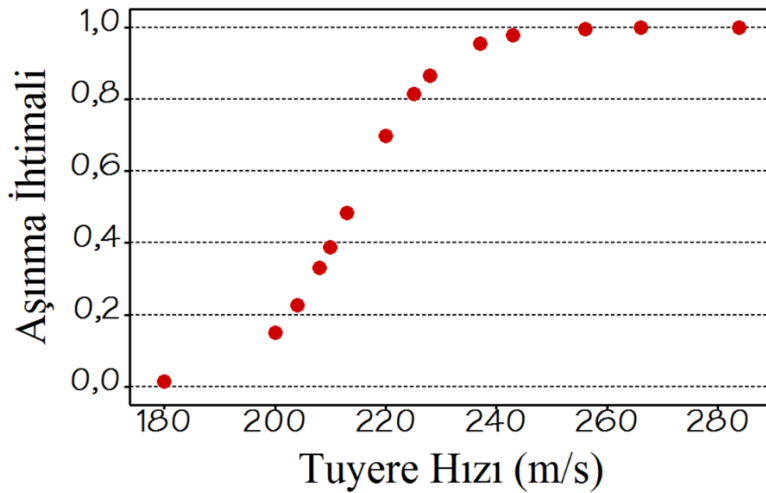
- Pelet diğer demirli hammaddelere göre indirgenme özelliği çok daha iyidir. Pelet operasyonunda ısı yükünün dalgalanması, kayma ve geçirgenliğin azalması problemleriyle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu problemleri minimize etmek amacıyla fırın merkezine kok beslenir ve gaz merkeze yönlendirilir (Matsu et al. 2005). Dolayısıyla, fırın üst bölgelerindeki ısı enerjisi artar. Bu enerjinin artması ve peletin yüksek indirgenme özelliği, üst bölgelerden indirgenmenin başlamasını, malzemenin yumuşamasını ve cüruf oluşumunu sağlar. Bu sayede bakır panel soğutucuların olduğu fırın alt bölgelerinde indirgenmemiş malzeme kalma ihtimali düşer ve koruyucu katman oluşumu kolaylaşır. Diğer yandan fırına kokun beslenmesi, duvarlardaki kokun nispeten azalmasına neden olur ve bu sayede abrazyon aşınma hızı yavaşlar.



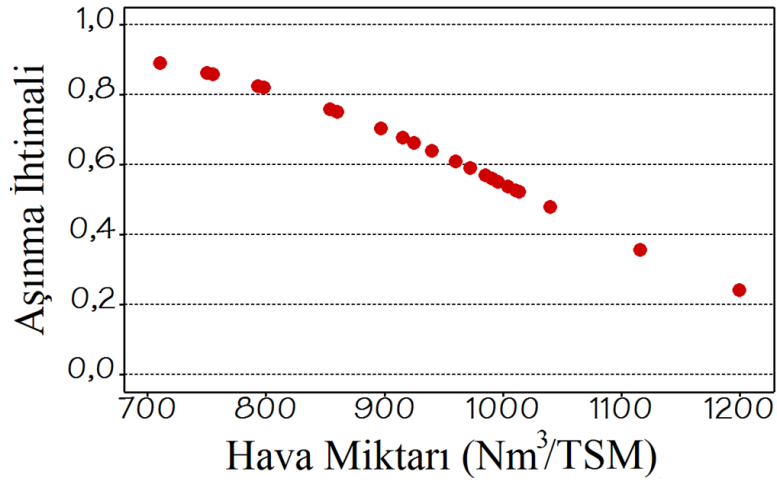
Şekil 3.12 Pelet oranının aşınmaya etkisi.

Şekil 3.13’ te görüldüğü gibi tüyer hızının artması aşınma ihtimalini artırmaktadır. Bu sonucun iki nedeni aşağıda verilenler olabilir;

- Yüksek tüyer hızlarında hava daha çok merkeze yönlenerak duvar bölgelerindeki akış azalır. Bu azalma duvardaki şarj malzemenin indirgenmesi için zararlı etkiye neden olur.
- Çok yüksek tüyer hızlarında, tüyer önündeki kok çok hızlı bir şekilde fırlatılır. Aşırı hız ve tüyer önündeki resirkülasyon ile birbirine çarpan koklar ufanır. Ufalanen koklar deadman üzerinde birikerek fırın merkezindeki geçirgenliği azaltır ve şarj malzemesinin aşağı yöndeki hareket alanını daraltır. Bu nedenle abrazyon aşınmasının en önemli nedenlerinden biri olan şarj malzemesinin hızı artar (Ichida et al. 2006).



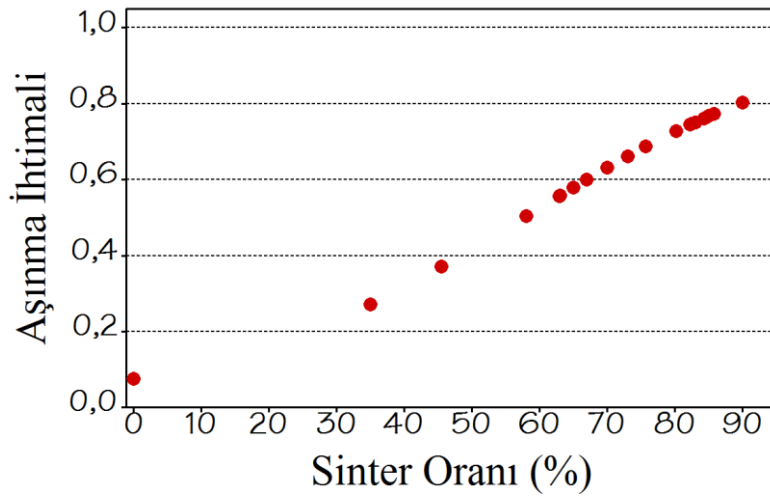
Şekil 3.13 Tüyer hızının aşınmaya etkisi.



Şekil 3.14 Hava miktarının aşınmaya etkisi.

Şekil 3.14’ te görüldüğü üzere hava miktarı ile aşınma ihtimali düşmektedir. Bunun bir nedeni aşağıdaki açıklama olabilir;

- Hava miktarının birim ton başına fazla kullanılması, ısı taşıyıcı olarak azotun fırın üst bölgelerinde enerjiyi artırması anlamına gelmektedir. Şarj malzemesi dağılımının uygun yapıldığı durumda indirgenme fırın üst bölgelerinden başlayacağı için koruyucu katman tabaka oluşumu kolaylaşacaktır.



Şekil 3.15 Hava miktarının aşınmaya etkisi.

Şekil 3.15’ te görüldüğü üzere lojistik regresyon analizine göre artan sinter oranı ile aşınma artmaktadır.

Yukarıdaki analizlerine ek olarak kok oranı, sinter oranı, parça cevher oranı, cüruf oranı, tüyer hızının tüyerlerin aralarındaki mesafeye oranı, fındık kok oranı, yakıt oranı ve oksijen zenginleştirme oranı ile alakalı lojistik regresyon analizleri yapılmıştır. Ancak, istatistiki olarak panel soğutma sistemlerinin aşınması ile bu parametreler arasında herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır.

3.5. *BAF_v.1* VE YILLARA GÖRE AŞINMA TAHMİNİ

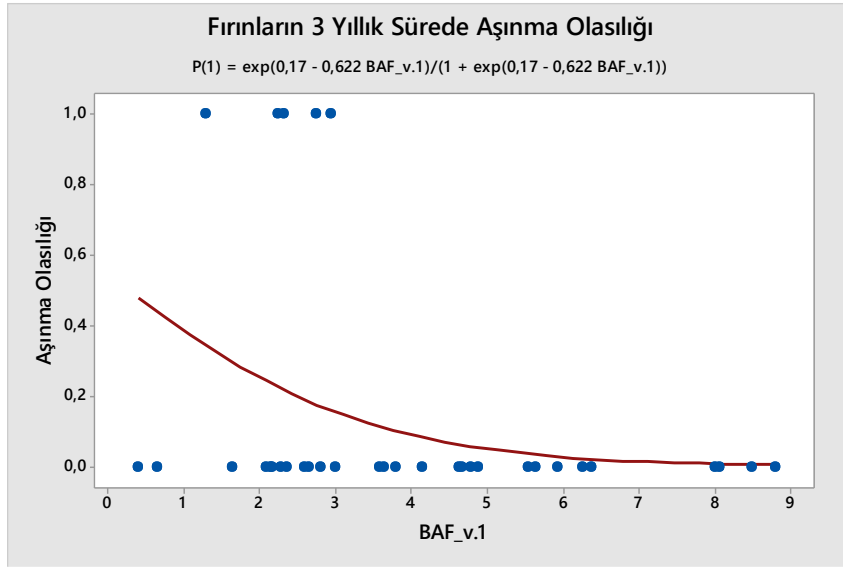
Bu bölümde *BAF_v.1* foksiyonu, fırın tasarım ve proses bilgileri kullanılarak yıllara bağlı aşınma tahmin modeli geliştirilecektir. Bu amaçla öncelikle Dünya Çelik Birliği’nden temin edilmiş 34 farklı yüksek fırına ait veriler kullanılarak, fırınlara ait *BAF_v.1* değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında ise bu veriler 3 yıldan 10 yıla kadar kategorize edilmiştir. Son olarak, her bir yıl için lojistik regresyon analizi kullanmak suretiyle toplamda 8 ayrı tahmin modeli ortaya konulmuştur. Bu kategorizasyon Çizelge 3.4 ile Çizelge 3.11’de görülmektedir.

Çizelge 3.4 Otuz dört fırının 3. yıl için aşınma durumu.

NO	<i>BAF_v.1</i>	AŞINMA	NO	<i>BAF_v.1</i>	AŞINMA	NO	<i>BAF_v.1</i>	AŞINMA
1	6,3	0	12	4,1	0	24	2,4	0
2	2,3	1	13	4,6	0	25	2,2	0
3	2,3	1	14	5,5	0	26	2,3	0
4	3,7	0	15	4,9	0	27	6,4	0
5	2,8	1	17	8,5	1	29	8,1	0
6	2,1	0	18	3,0	0	30	1,6	0
7	3,0	0	19	8,0	0	31	0,7	0
8	8,8	0	20	5,9	0	32	5,7	0
9	3,8	0	21	3,6	0	35	2,8	0
10	2,6	0	22	2,2	1	34	4,7	0
11	2,7	0	23	1,3	0			

3. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.16'da sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-0,017-0,622*BAF_{v.1}}}{1+e^{-0,017-0,622*BAF_{v.1}}} \quad (3.1)$$



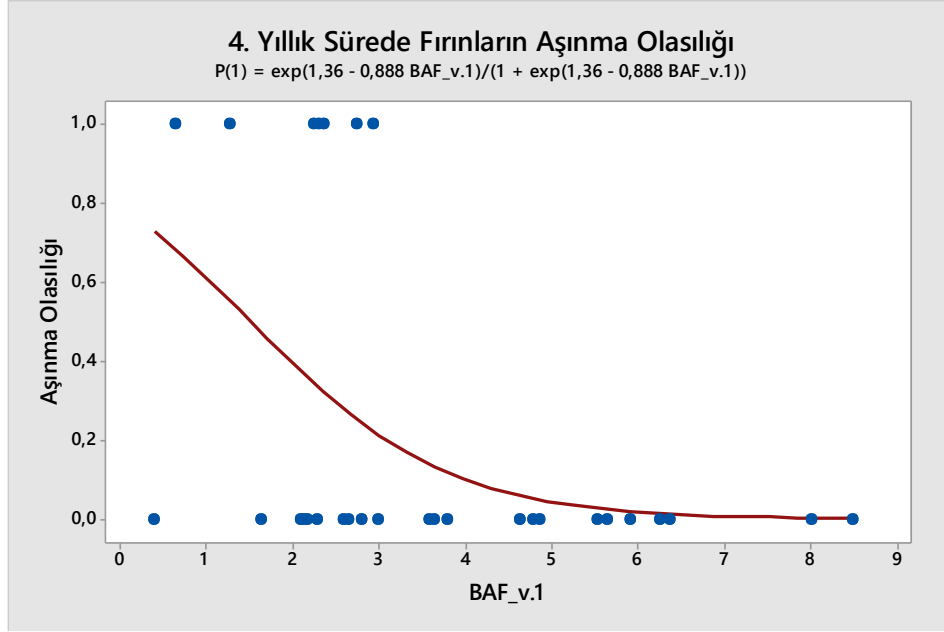
Şekil 3.16 Değişik $BAF_{v.1}$ değerlerine göre 3 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.5 Otuz dört fırının 4. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF	AŞINMA	NO	BAF	AŞINMA	NO	BAF	AŞINMA
1	6,3	0	13	4,6	0	24	2,4	1
2	2,3	1	14	5,5	0	25	2,2	0
3	2,3	1	15	4,9	0	26	2,3	0
4	3,7	0	17	8,5	1	27	6,4	0
5	2,8	1	18	3,0	0	29	1,6	0
6	2,1	0	19	8,0	0	30	0,7	1
7	3,0	0	20	5,9	0	31	5,7	0
9	3,8	0	21	3,6	0	32	2,8	0
10	2,6	0	22	2,2	1	34	4,8	0
11	2,7	0	23	1,3	0			

4. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.17’de sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-1,36-0,888*BAF_{v.1}}}{1+e^{-1,36-0,888*BAF_{v.1}}} \quad (3.2)$$



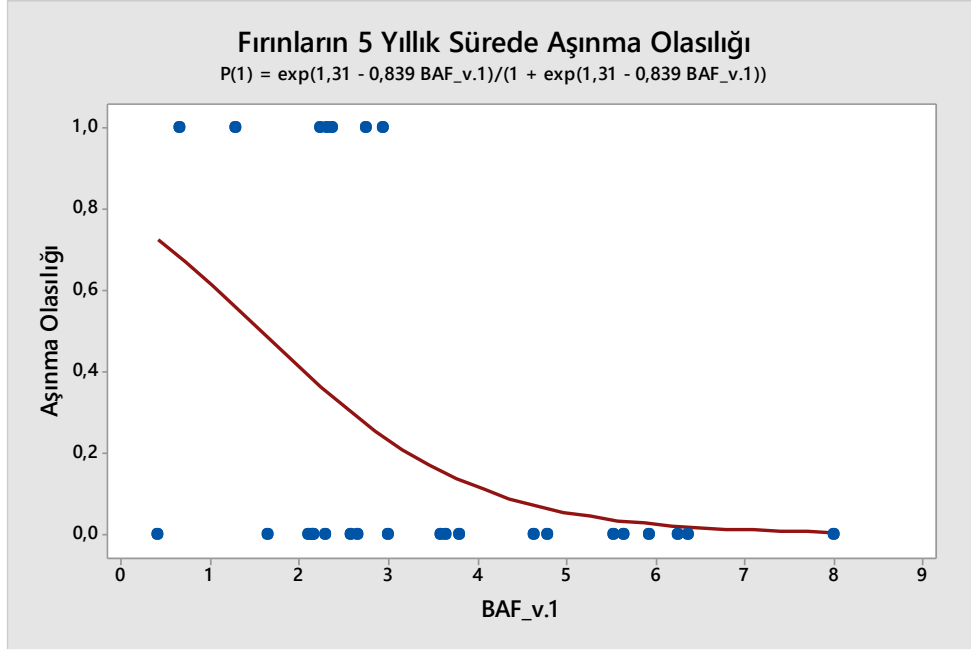
Şekil 3.17 Değişik BAF değerlerine göre 4 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.6 Otuz dört fırının 5. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF_v1	AŞINMA	NO	BAF_v1	AŞINMA	NO	BAF_v1	AŞINMA
1	6,3	0	13	4,6	0	24	2,4	1
2	2,3	1	14	5,5	0	25	2,2	0
3	2,3	1	17	3,0	1	26	2,3	0
4	3,7	0	18	8,0	0	27	6,4	0
5	2,8	1	19	5,9	0	29	1,6	0
6	2,1	0	20	3,6	0	30	0,7	1
7	3,0	0	21	2,2	0	31	5,7	0
9	3,8	0	22	1,3	1	34	2,4	0
10	2,6	1	23	0,4	0			
11	2,7	0						

5. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.18'de sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-1,31-0,839*BAF_v.1}}{1+e^{-1,31-0,839*BAF_v.1}} \quad (3.3)$$



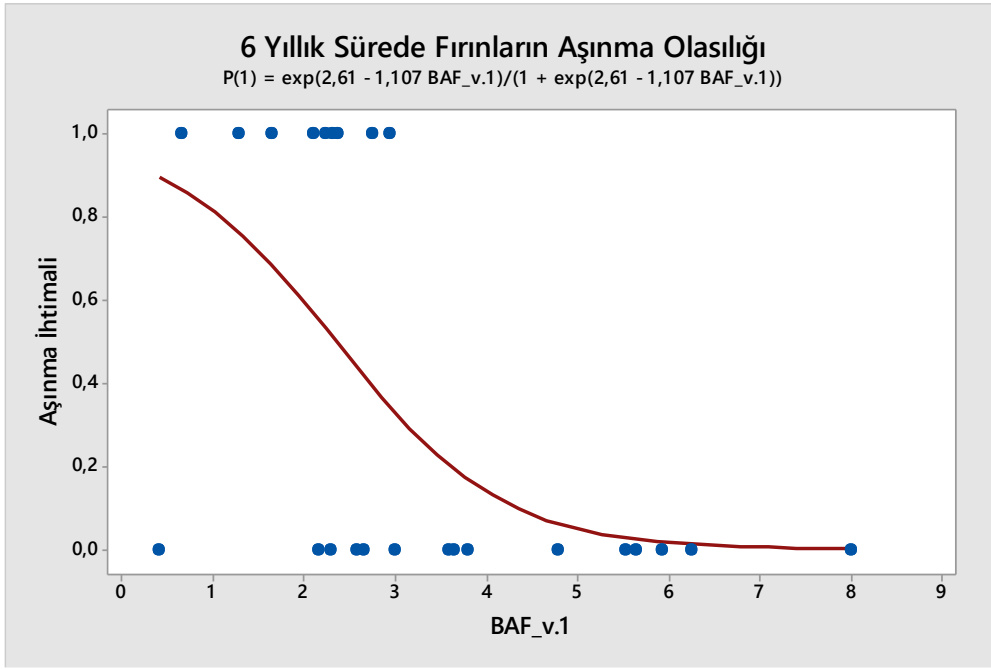
Şekil 3.18 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 5 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.7 Otuz dört fırının 6. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF_v1	AŞINMA	NO	BAF_v1	AŞINMA
1	6,3	0	18	8,0	0
2	2,3	1	19	5,9	0
3	2,3	1	20	3,6	0
4	3,7	0	21	2,2	0
5	2,8	1	22	1,3	1
6	2,1	1	23	0,4	0
7	3,0	0	24	2,4	1
9	3,8	0	26	2,3	0
10	2,6	1	29	1,6	1
11	2,7	1	30	0,7	1
14	5,5	0	31	5,7	0
17	3,0	1	34	4,8	0

6. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.19'da sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-2,61-1,107*BAF_{v.1}}}{1+e^{-2,61-1,107*BAF_{v.1}}} \quad (3.4)$$



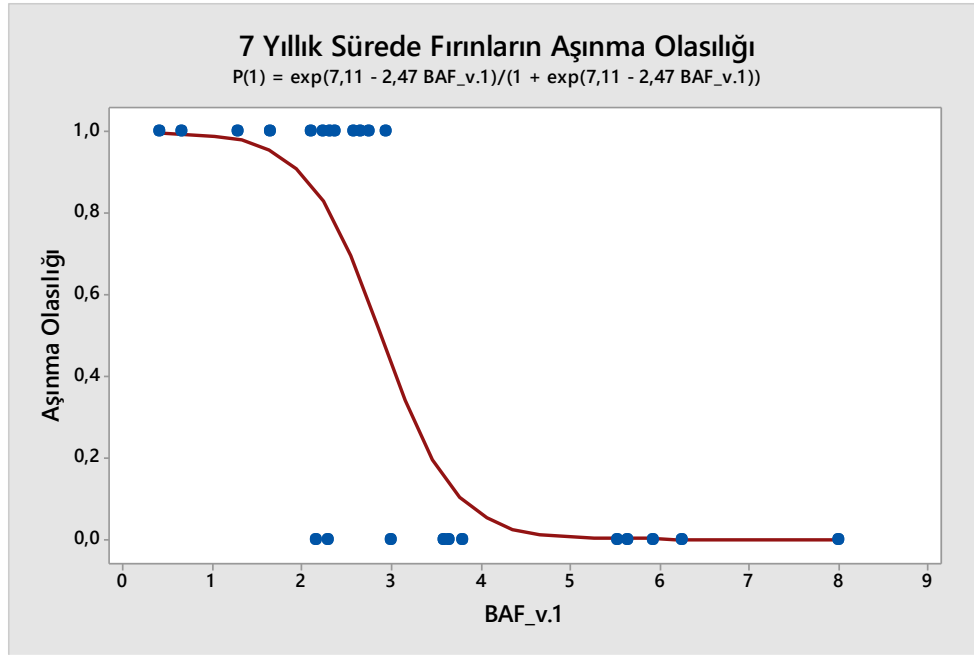
Şekil 3.19 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 6 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.8 Otuz dört fırının 7. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF	AŞINMA	NO	BAF	AŞINMA
1	6,3	0	18	8,0	0
2	2,3	1	19	5,9	0
3	2,3	1	20	3,6	0
4	3,7	0	21	2,2	0
5	2,8	1	22	1,3	1
6	2,1	1	23	0,4	1
7	3,0	0	24	2,4	1
9	3,8	0	26	2,3	0
10	2,6	1	29	1,6	1
11	2,7	1	30	0,7	1
14	5,5	0	31	5,7	0
17	3,0	1			

7. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.20'de sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-7,11-2,47*BAF_v.1}}{1+e^{-7,11-2,47*BAF_v.1}} \quad (3.4)$$



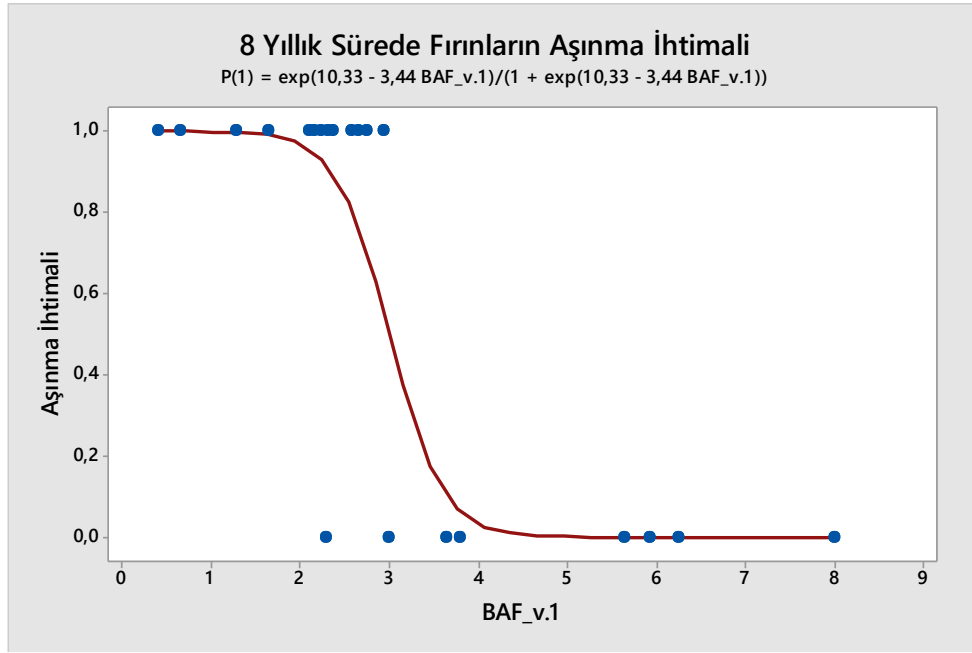
Şekil 3.20 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 7 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.9 Otuz dört fırının 8. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF_v.1	AŞINMA	NO	BAF_v.1	AŞINMA
1	6,3	0	18	8,0	0
2	2,3	1	19	5,9	0
3	2,3	1	21	2,2	1
4	3,7	0	22	1,3	1
5	2,8	1	23	0,4	1
6	2,1	1	24	2,4	1
7	3,0	0	26	2,3	0
9	3,8	0	29	1,6	1
10	2,6	1	30	0,7	1
11	2,7	1	31	5,7	0
17	3,0	1			

8. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.21’de sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-10,33-3,44*BAF_{v.1}}}{1+e^{-10,33-3,44*BAF_{v.1}}} \quad (3.5)$$



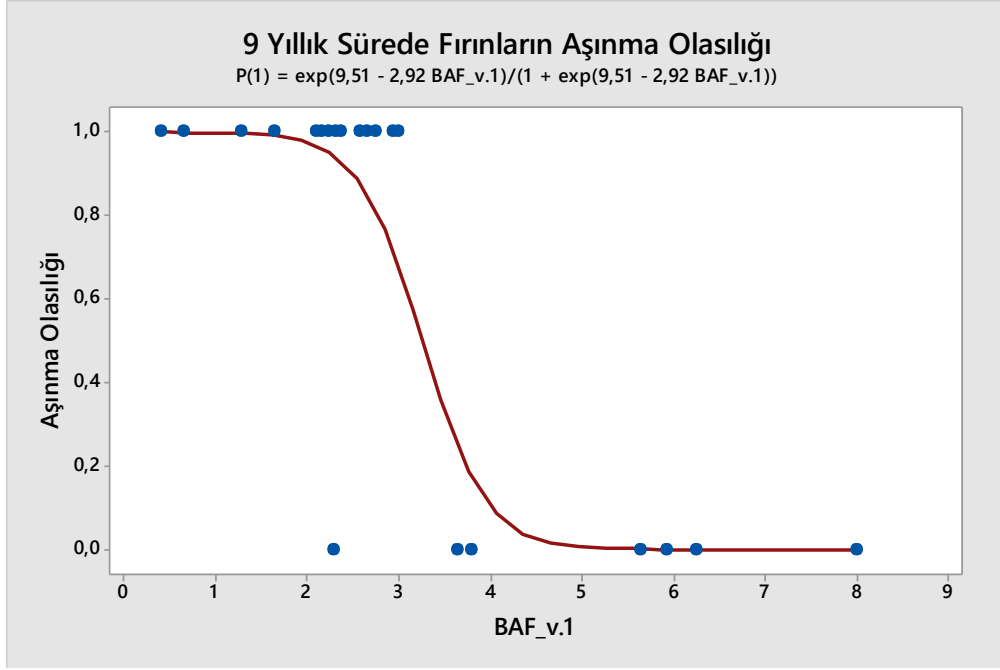
Şekil 3.21 Değişik BAF_v.1 değerlerine göre 8 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.10 Otuz dört fırının 9. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF	AŞINMA	NO	BAF	AŞINMA
1	6,3	0	18	8,0	0
2	2,3	1	19	5,9	0
3	2,3	1	21	2,2	1
4	3,7	0	22	1,3	1
5	2,8	1	23	0,4	1
6	2,1	1	24	2,4	1
7	3,0	1	26	2,3	0
9	3,8	0	29	1,6	1
10	2,6	1	30	0,7	1
11	2,7	1	31	5,7	0
17	3,0	1			

9. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.22’de sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{-0,017-0,622*BAF_{v.1}}}{1+e^{-0,017-0,622*BAF_{v.1}}} \quad (3.6)$$



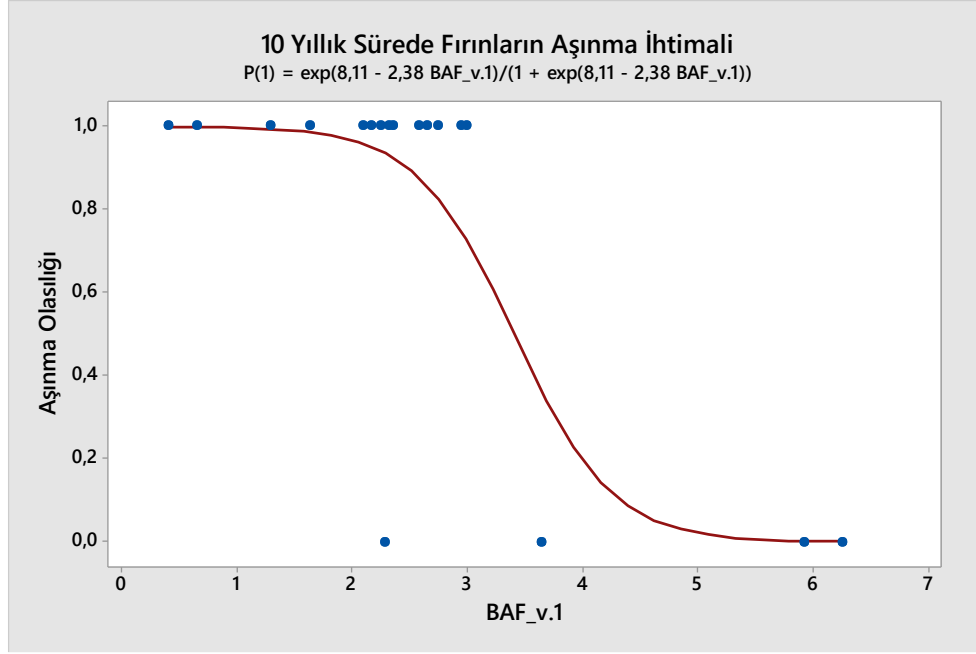
Şekil 3.22 Değişik BAF değerlerine göre 9 yılda aşınma olasılığı.

Çizelge 3.11 Otuz dört fırının 10. yıl için aşınma durumu.

NO	BAF	AŞINMA	NO	BAF	AŞINMA
1	6,3	0	18	8,0	0
2	2,3	1	19	5,9	0
3	2,3	1	21	2,2	1
4	3,7	0	22	1,3	1
5	2,8	1	23	0,4	1
6	2,1	1	24	2,4	1
7	3,0	1	26	2,3	0
10	2,6	1	29	1,6	1
11	2,7	1	30	0,7	1
17	3,0	1			

10. yıl için elde edilen tahmin modeline ait formül aşağıdaki şekilde olup, ilgili grafik Şekil 3.23'te sunulmuştur.

$$P(1) = \frac{e^{8,11-2,38*BAF_{v.1}}}{1+e^{8,11-2,38*BAF_{v.1}}} \quad (3.7)$$

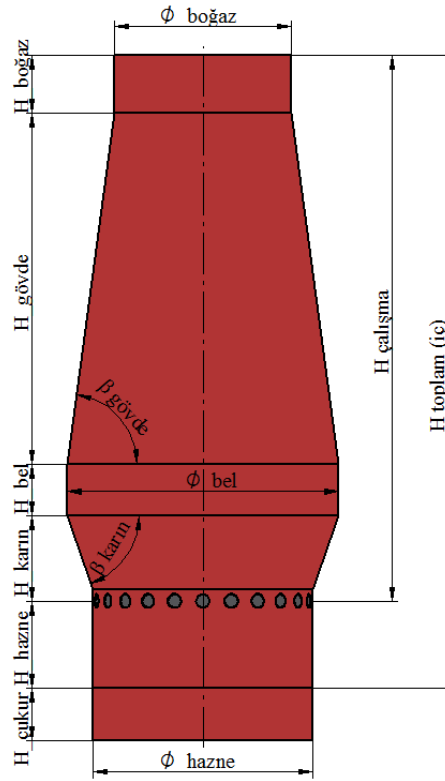


Şekil 3.23 Değişik BAF değerlerine göre 10 yılda aşınma olasılığı.

BÖLÜM 4

MODERN YÜKSEK FIRINLAR İÇİN YENİ TASARIM KURALLARI

Bu bölümde yüksek fırın tasarımında takip edilmesi gereken aşamalar adım adım anlatılacaktır. Yeni tasarım kuralları bakır panel soğutma sistemine sahip fırınları kapsamaktadır. Tasarımın alt yapısında *BAF* fonksiyonu kullanılmış olup, aşınmaya etkili geometrik parametreler kategorize edilerek kullanılmıştır. Sonrasında Şekil 4.1’de gösterilen fırın bölümleri, hazne çapına bağlı olarak lineer ve üstel fonksiyonlar ile ifade edilmiştir. Son olarak, yeni tasarım kuralları ile hazne çapı 8 m’den 16,5 m’ye kadar değişen fırınlar için tasarımlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Fırın Geometrik Parametreleri.

4.1. KAPASİTENİN TAYİN EDİLMESİ

Bu aşama fırın tasarımının ilk aşamasıdır. İlk olarak yıllık zaman dilimi içerisindeki maksimum üretim ve üretkenlik değerleri belirlenecektir. Sonrasında yıl içerisindeki bakım ve diğer duruşlar da dikkate alınarak günlük maksimum üretim miktarı hesaplanacaktır.

Maksimum yıllık üretim miktarı Q_{yilluk_max} ile, yıllık çalışma miktarı ise elverişlilik olarak ζ ile yüzde cinsinden ifade edilecektir.

Örneğin %98 elverişliliğe sahip fırının senelik çalışma süresi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned} \zeta_{senelik} &= 365 * \zeta \\ &= 365 * 0,98 \\ &= 357,7 \text{ gün} \end{aligned} \tag{4.1}$$

Günlük bazda maksimum kapasite şu şekilde belirlenir:

$$Q_{günlük_max} = \frac{Q_{yilluk_max}}{\zeta} \tag{4.2}$$

4.2. HAZNE ÇAPININ BELİRLENMESİ

Bu aşamada hesaplanan günlük kapasite için ihtiyaç olan hazne çapı belirlenecektir. Bu amaçla Çizelge 4,1'de verilen değerler kullanılacaktır.

Günlük üretim miktarı aşağıdaki gibi fırın verimlilik değeri ile çalışma hacmi çarpılarak hesaplanabilir.

$$Q_{günlük} = \varphi_{çalışma} * V_{çalışma} \tag{4.3}$$

Günlük bazda hazne üretkenlik değeri, fırının hazne birim yüzeyinden geçen üretim miktarı olarak ifade edilmektedir. Çizelge 4.1'deki fırınlara ait ortalama hazne üretkenlik değeri ise aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\overline{Q_{hazne-g}} = \frac{\sum_1^n \frac{Q^{(n)}_{hazne-g}}{A^{(n)}_{hazne}}}{n} \quad (4.4)$$

Hesaplamalar sonucunda $\overline{Q_{hazne-g}}$ değeri $61,77 \frac{ton}{m^2 * gün}$ olarak bulunmuştur.

Diğer taraftan fırınlara ait ortalama üretkenlik değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\overline{\varphi_{çalışma}} = \frac{\sum_1^n \varphi^{(n)}_{çalışma}}{n} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.1'deki veriler doğrultusunda $\overline{\varphi_{çalışma}}$ değeri 2,43 olarak hesaplanmıştır.

$\overline{\varphi_{çalışma}} = 2,43$ ile ifade edilen referans üretkenlik değerinde, tasarım aşamasında kullanılacak referans birim hazne alanı için kapasite değeri $Q_{ref-hazne-g} = 61,77 \frac{ton}{m^2 * gün}$ olarak kabul edilecektir.

Çizelge 4.1 Birim hazne alanı başına kapasite ve üretkenlik değerleri (World Steel Association 2014).

Fırın		YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14
\varnothing_{hazne}	m	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4
H_{hazne}	m	5,9	6,1	6,0	9,5	11,9	4,6	7,4
A_{hazne}	m ²	103,9	50,3	50,3	50,3	145,3	50,3	102,1
$V_{çalışma}$	m ³	2650	1186	1220	1374	3846	1100	2540
$\varphi_{çalışma}$	ton/m ³	2,0	2,7	2,3	2,6	2,5	2,5	2,5
$Q_{günlük}$	ton	5300	3257	2850	3572	9730	2750	6426
$Q_{hazne-g}$	ton/m ²	51,0	64,8	56,7	71,0	67,0	54,7	62,9

Fırın		YF_15	YF_16	YF_18	YF_19	YF_20	YF_26	YF_27
\varnothing_{hazne}	m	15,6	8,0	11,1	13,5	12,0	10,8	13,2
H_{hazne}	m	4,8	6,0	11,6	11,5	5,2	6,5	4,8
A_{hazne}	m ²	191,2	50,3	97,5	143,2	113,1	91,6	136,9
$V_{çalışma}$	m ³	4682	1220	3125	3800	3600	2151	3445
$\varphi_{çalışma}$	ton/m ³	2,8	2,4	2,7	2,6	1,5	2,5	2,2
$Q_{günlük}$	ton	13145	2955	8375	9915	5400	5378	7648
$Q_{hazne-g}$	ton/m ²	68,7	58,8	85,9	69,2	47,7	58,7	55,9

Fırın		YF_28	YF_31	YF_32	YF_33	YF_34
\varnothing_{hazne}	m	12,0	11,2	12,0	13,0	13,0
H_{hazne}	m	7,6	7,1	7,6	7,2	7,2
A_{hazne}	m ²	113,1	98,6	113,1	132,8	132,8
$V_{çalışma}$	m ³	2775	2356	2893	3230	3230
$\varphi_{çalışma}$	ton/m ³	2,7	2,3	2,1	2,6	2,5
$Q_{günlük}$	ton	7488	5442	6046	8430	8204
$Q_{hazne-g}$	ton/m ²	66,2	55,2	53,4	63,5	61,8

Bu adımda ise belirlenen kapasite değerine göre gerekli hazne çapı aşağıda gösterildiği şekilde belirlenecektir.

$$D_{hazne} = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{Q_{günlük}}{Q_{ref-hazne-g}}} \quad (4.6)$$

4.3. HAZNE ÇAPINA GÖRE ÇALIŞMA HACMİNİN BELİRLENMESİ

Bu kısımda iki farklı hesaplama ile çalışma hacmi bulunabilir.

4.3.1. Yöntem-1

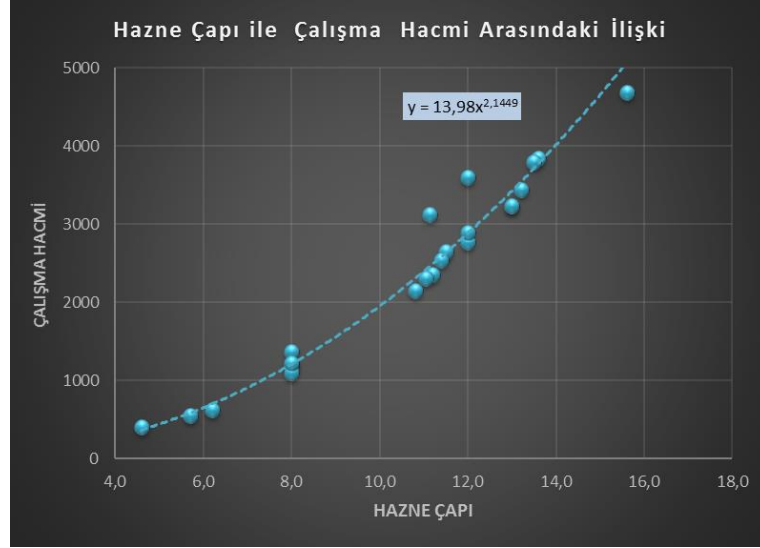
Bu yöntemde çalışma hacmine göre hesaplanan verimlilik değeri kullanılarak çalışma hacmi hesaplanacaktır. Çalışma hacmi aşağıda görüldüğü gibi verimlilik ile günlük üretim kapasitesinin çarpımına eşittir.

$$V_{çalışma} = Q_{günlük} \times \varphi_{çalışma} \quad (4.7)$$

4.3.2. Yöntem-2

Bu yöntemle çalışma hacmini bulmak amacıyla Çizelge 4.2'deki veriler kullanılarak aşağıda verilen üstel fonksiyon türetilmiştir. Çalışma hacmi “ $V_{çalışma}$ ” ile, hazne çapı ise “ ϕ_{hazne} ” ile temsil edildiğinde; hazne çapı ile çalışma hacmi arasında aşağıdaki ilişki aşağıdaki gibi ve sonuçlar Şekil 4.2'de verildiği şekildedir.

$$V_{çalışma} = 13,98 \times \phi_{hazne}^{2,1449} \quad ,veya \quad \phi_{hazne} = \left[\frac{V_{çalışma}}{13,98} \right]^{\frac{1}{2,1449}} \quad (4.8)$$



Şekil 4.2 Hazne çapı ile çalışma hacmi arasındaki ilişki.

Yalnız burada şunu da ifade etmekte fayda vardır. Fırın bölümlerine ait yeni kurallar ortaya konulduktan sonra çalışma hacmi ile hazne çapı arasındaki ilişki tekrar hesaplanacaktır.

Çizelge 4.2 Fırınlara ait hazne çapı ve çalışma hacmi verisi (World Steel Association 2014).

Fırın İsmi	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15
\varnothing_{hazne} (m)	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6
$V_{çalışma}$ (m ³)	2650	1186	1220	1374	3846	1100	2540	4682

Fırın İsmi	YF_16	YF_18	YF_19	YF_20	YF_26	YF_27	YF_28	YF_31
\varnothing_{hazne} (m)	8,0	11,1	13,5	12,0	10,8	13,2	12,0	11,2
$V_{çalışma}$ (m ³)	1220	3125	3800	3600	2151	3445	2775	2356

Fırın İsmi	YF_32	YF_33	YF_34	YF_35	YF_36	YF_37
\varnothing_{hazne} (m)	12,0	11,1	13,0	4,6	5,7	6,2
$V_{çalışma}$ (m ³)	2893	2308	3230	400	550	625

4.4. HAZNE ÇAPINA GÖRE TOPLAM İÇ HACMİN BELİRLENMESİ

Fırın iç hacmi ile hazne arasındaki ilişkinin bulunması amacıyla Çizelge 4.3'teki veriler kullanılmıştır. Hesaplama sonucunda hazne çapı ile iç hacim arasındaki ilişki, aşağıdaki denklem ve Şekil 4.3'te gösterildiği gibi bulunmuştur.

$$V_{iç\ hacim} = 14,55 \times \varnothing_{hazne}^{2,1855} \quad (4.9)$$



Şekil 4.3 Hazne çapı ile iç hacim arasındaki ilişki.

Tasarıma küçük hacimli fırınları da dâhil etmek amacıyla, Çizelge 4.4'teki 36, 37 ve 38 numaralı fırınlara ait iç hacim verileri %10 artırılmıştır.

Çizelge 4.3 Fırınlara ait hazne çapı ve iç hacmi verisi (World Steel Association 2014).

Fırın İsmi	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_14	YF_15
\emptyset_{hazne} (m)	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	11,4	15,6
$V_{\text{iç hacim}}$ (m ³)	3051	1357	1357	1550	4417	3003	5500

Fırın İsmi	YF_16	YF_18	YF_19	YF_26	YF_28	YF_31	YF_32
\emptyset_{hazne} (m)	8,0	11,1	13,5	10,8	12,0	11,2	12,0
$V_{\text{iç hacim}}$ (m ³)	1357	3550	4237	2581	3284	2679	3650

Fırın İsmi	YF_33	YF_34	YF_35	YF_36	YF_37
\emptyset_{hazne} (m)	11,1	13,0	4,6	5,7	6,2
$V_{\text{iç hacim}}$ (m ³)	2648	3814	440	605	688

4.5. HAZNE ÇAPINA GÖRE HAZNE YÜKSEKLİĞİNİN BELİRLENMESİ

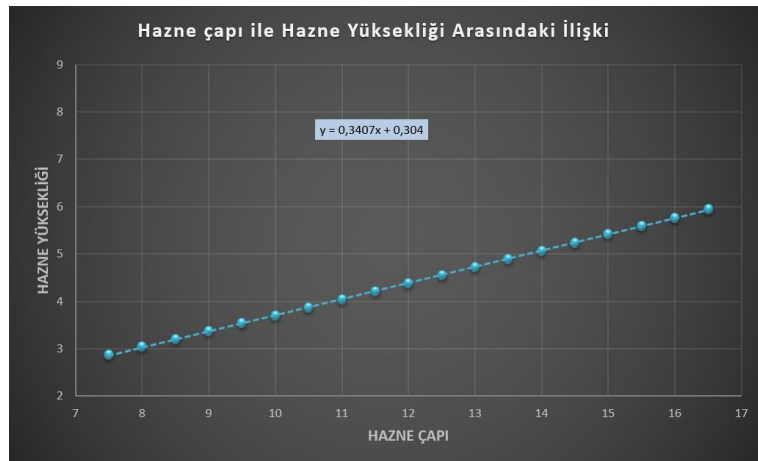
Yeterli pik depolama alanı oluşturmak hazne yüksekliğinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimde Çizelge 4.4'teki mevcut verilerden net bir sonuca ulaşamadığı için elde edilen tecrübeler ışığında aşağıdaki yöntem izlenecektir.

Hazne çapı 8 m olan fırınlar için hazne hacmi/ iç hacim oranı %11, 16,5 m olan fırınlar için ise %19 alınacaktır. Bu bilgi ve Denklem 4.9 kullanılarak hazne hacmi bulunmuş, sonrasında hazne çapı ile hazne yüksekliği arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ve Şekil 4.4'te verildiği şekliyle hesaplanmıştır.

$$H_{\text{hazne}} = \frac{V_{\text{içhacim}} \times \left[\frac{0.08}{8.5} \times \phi_{\text{hazne}} + 0.035 \right]}{A_{\text{hazne}}} \quad (4.10)$$

Hazne çapı ile yükseklik arasında Şekil 4.4'te görüleceği üzere lineer bir fonksiyon ilişkisi mevcuttur. Dolayısıyla hazne yüksekliği hesabı için Denklem 4.10 yerine aşağıdaki ifade de kullanılabilir.

$$H_{\text{hazne}} = 0,3407 \times \phi_{\text{hazne}} + 0,304 \quad (4.11)$$



Şekil 4.4 Fırınlara ait hazne çapı ile hazne yüksekliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.4 Fırınlara ait hazne çapı ve hazne yüksekliği verisi (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_2	YF_3	YF_5	YF_7	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_15
H_{hazne}	5,9	7,7	6,7	5,0	4,6	6,0	9,5	11,9	4,6	4,8
ϕ_{hazne}	11,5	12,3	10,2	15,6	13,9	8,0	8,0	13,6	8,0	15,6

	YF_16	YF_21	YF_25	YF_27	YF_28	YF_29	YF_30	YF_31	YF_32
H_{hazne}	6,0	4,6	5,5	4,8	7,6	5,6	7,1	7,1	7,6
ϕ_{hazne}	8,0	12,1	14,5	13,2	12,0	10,5	11,4	11,2	12,0

Şimdiye kadar olan geometrik parametrelerin tümünde, panel soğutucu aşınmasına maruz fırınlar arasında ayırım yapmadan, tüm fırınların teknik bilgileri dikkate alınmıştır. Çünkü tüyerlere kadar olan bölgenin aşınmaya etkisi olmadığı daha önce yapılan lojistik regresyon analizleriyle ortaya konulmuştu. Dolayısıyla bundan sonra 10 yıl boyunca hiç aşınmamış fırınlara ait veriler kullanılarak tasarım verileri ortaya konulacaktır.

4.6. HAZNE ÇUKURUNUN BELİRLENMESİ

Hazne çukuru deadmanın yüzmesi ve fil ayağı oluşumunun engellenmesi açısından hayati öneme sahiptir. Yeterli hazne çukuru olmaz ise döküm açıldıktan sonra duvar bölgesinden geçen pik demir hazne duvarını hızlı bir şekilde aşındırır ve fil oluşumuna neden olur. Bu problemi önleme amacıyla tasarım aşamasında yeterli hazne çukuru seçimi yapılmalıdır.

Literatürde hazne çukuru, kabaca hazne çapının minimum %20'si olarak ifade edilmektedir (Raipala, 2003). Bu doktora çalışması kapsamında EK-B'de verilen fırınların tasarımında hazne çukuru hazne çapının %25 alınacaktır.

4.7. TÜYER EKSENİ İLE KARIN BÖLGESİNİN BAŞLANGIÇ MESAFESİ

Bu bölge için önerilen değer tasarımın elverdiği ölçüde minimum seçilmelidir. Çizelge 4.5'te fırınlara ait mesafe bilgileri verilmiştir. Bu verilere sahip fırınlarda herhangi bir aşınma raporlanmasa da, burada ifade edilen yüksekliğin fazlalığı; tüyerin üzerindeki soğutucuların yanmasına ve/veya tüyer önündeki sirkülasyondan dolayı kok parçalarının erozif aşındırmasına neden olabilir. Bu doktora çalışması kapsamında tüyer eksenine ile karın bölgesinin başlangıç mesafesi, tasarımsal herhangi bir engel yok ise, 0,5 m seçilmesi önerilmektedir.

Çizelge 4.5 Değişik fırınlara ait tüyer ve karın başlangıcı mesafe verisi (World Steel Association 2014).

YF_1	YF_04	YF_08	YF_09	YF_12	YF_15	YF_16	YF_18	YF_28	YF_31
0,584	0,847	0,770	0,400	0,750	0,630	0,770	0,746	0,600	0,500

4.8. KARIN YÜKSEKLİĞİN TAYİN EDİLMESİ

Karın bölgesinin yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 4.6'daki veriler kullanılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda hazne çapı ile karın yüksekliği arasında bulunan ilişki Şekil 4.5'te gösterildiği ve aşağıdaki denklemde verildiği gibi bulunmuştur.

$$H_{karın} = 0,1171 \times \phi_{hazne} + 2,0664 \quad (4.12)$$



Şekil 4.5 Hazne çapı ile karın yüksekliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.6 Hazne çapı ve karın yüksekliği verileri (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
$H_{karın}$	3,3	3,1	2,6	3,7	3,7	3,0	3,2	4,4	2,6
ϕ_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

	YF_18	YF_19	YF_20	YF_26	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
$H_{karın}$	3,2	3,2	2,9	3,7	3,5	3,3	3,2	4,0	4,0
ϕ_{hazne}	11,1	13,5	12,0	10,8	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

4.9. BEL ÇAPININ TAYİN EDİLMESİ

Hazne çapı ile bel çapı arasındaki ilişkinin bulunması amacıyla Çizelge 4.7'deki veriler kullanılmıştır. Bu veriler doğrultusunda oluşturulan grafik Şekil 4.6'da, hazne çapı ile bel çapı arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir.

$$\phi_{bel} = 1,0319 \times \phi_{hazne} + 1,921 \quad (4.13)$$



Şekil 4.6 Hazne çapı ile bel çapı arasındaki ilişki.

Çizelge 4.7 Hazne çapı ve bel çapı verileri (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
ϕ_{bel}	13,6	9,5	10,0	10,5	16,0	10,0	13,6	17,9	10,0
ϕ_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

	YF_17	YF_18	YF_20	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
ϕ_{bel}	14,8	15,5	15,1	15,2	15,5	13,4	14,7	14,7
ϕ_{hazne}	11,1	13,5	12,0	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

4.10. KARIN BÖLGESİNE AİT AÇININ TAYİN EDİLMESİ

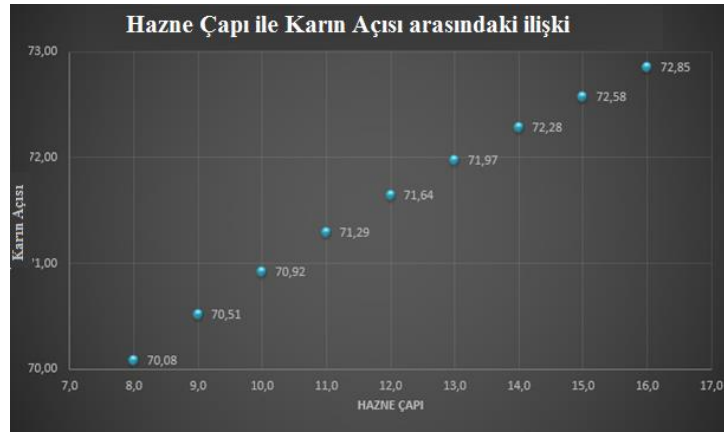
Karın bölgesine ait açı; hazne çapı, bel çapı ve karın yüksekliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\beta_{karın} = \tan^{-1} \frac{\frac{\phi_{bel} - \phi_{hazne}}{2}}{H_{karın}} \quad (4.14)$$

Çizelge 4.8'deki veriler kullanılarak Şekil 4.7 elde edilebilir.

Çizelge 4.8 Hazne çapı ve karın açısı verileri.

ϕ_{hazne}	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
ϕ_{bel}	10,2	11,2	12,2	13,3	14,3	15,3	16,4	17,4	18,4
$H_{karın}$	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
$\beta_{karın}$	70,08	70,51	70,92	71,29	71,64	71,97	72,28	72,58	72,85



Şekil 4.7 Hazne çapı ile karın açısı arasındaki ilişki.

4.11. BEL YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ

Bel yüksekliğinin tayin edilmesinde Çizelge 4.9'daki veriler kullanılmıştır. Ancak, Şekil 4.8'de görüleceği üzere bel yüksekliği 1,8 ile 3 m arasında değişmesine rağmen; hazne çapı ile arasında herhangi bir ilişki yoktur.



Şekil 4.8 Hazne çapı ile bel yüksekliği arasındaki ilişki.

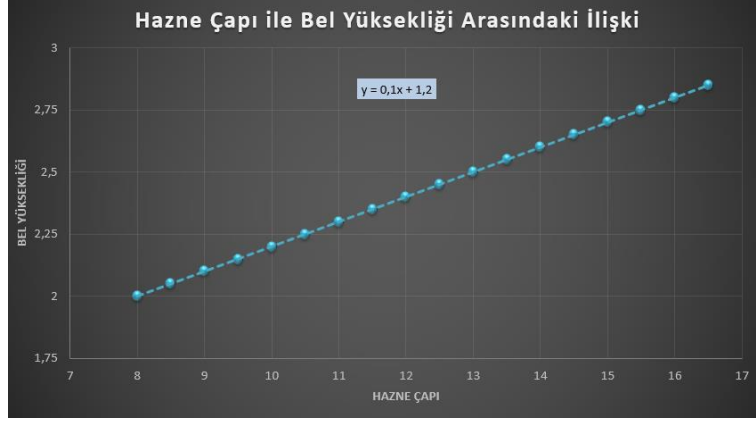
Çizelge 4.9 Hazne çapı ve bel yüksekliği mesafeleri (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
H_{bel}	2,1	2,2	2,0	2,2	2,5	2,8	2,4	1,8	2,0
ϕ_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

	YF_18	YF_19	YF_20	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
H_{bel}	2,5	2,5	2,0	3,0	2,6	2,7	2,1	2,1
ϕ_{hazne}	11,1	13,5	12,0	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

Bu doktora çalışması kapsamında bel yüksekliğinin tayin edilmesi amacıyla bel yüksekliği hazne çapı cinsinden ifade edilecektir. Eldeki tecrübeler ışığında; 8 m hazne çapına sahip fırınlar için bel yüksekliği 2 m, 16,5 m çapına kadar olan fırınlar için ise 2,85 m önerilmektedir. Bu eşitliğe ait ifade de aşağıda, ilgili grafik ise Şekil 4.9'da verilmiştir.

$$H_{bel} = 0,1 \times \phi_{hazne} + 1,2 \quad (4.15)$$



Şekil 4.9 Hazne çapı ile bel yüksekliği arasında önerilen ilişki.

4.12. GÖVDE BÖLGESİNİN YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ

Gövde yüksekliğinin tayin edilmesi amacıyla Çizelge 4.10'daki fırın verileri kullanılmıştır. Hazne çapı ile gövde yüksekliği arasındaki ilişki Şekil 4.10'da ve aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$H_{gövde} = 0,5631 \times \phi_{hazne} + 9,828 \quad (4.16)$$



Şekil 4.10 Hazne çapı ile gövde yüksekliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.10 Hazne çapı ve gövde yüksekliği verileri (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
$H_{gövde}$	15,9	14,8	14,4	15,0	17,0	12,0	15,5	17,5	14,4
ϕ_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

	YF_18	YF_19	YF_20	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
$H_{gövde}$	17,6	17,2	19,7	17,6	15,5	15,7	17,5	17,5
ϕ_{hazne}	11,1	13,5	12,0	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

4.13. BOĞAZ ÇAPININ TAYİN EDİLMESİ

Boğaz çapının tayin edilmesi amacıyla kullanılan bilgiler Çizelge 4.11’de gösterildiği gibidir. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan Şekil 4.11 yardımıyla, boğaz ve hazne çapı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\phi_{boğaz} = 0,656 \times \phi_{hazne} + 1,3907 \quad (4.17)$$



Şekil 4.11 Hazne çapı ile boğaz çapı arasındaki ilişki.

Çizelge 4.11 Hazne ve boğaz çapı verileri (World Steel Association 2014)

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
$\emptyset_{boğaz}$	9,5	6,4	6,6	6,3	10,0	7,0	8,9	12,1	6,6
\emptyset_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

	YF_18	YF_19	YF_20	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
$\emptyset_{boğaz}$	9,4	9,9	10,9	9,6	8,5	8,3	9,5	9,5
\emptyset_{hazne}	11,1	13,5	12,0	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

4.14. GÖVDE AÇISININ TAYİN EDİLMESİ

Gövde açısının tayin edilmesi amacıyla hazne çapı, gövde yüksekliği, bel çapı ve boğaz çapı bilgileri kullanılacaktır. Boğaz çapı, bel çapı ve gövde yüksekliği şimdiye kadar türetilen eşitlikler ve aşağıdaki denklem yardımı ile bulunabilir.

$$\beta_{gövde} = \tan^{-1} \frac{D_{boğaz} - \phi_{bel}}{2 H_{gövde}} \quad (4.18)$$

Hazne çapı ile gövde yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren değerler hem Şekil 4.12 hem de Çizelge 4.12' de verilmiştir.



Şekil 4.12 Hazne çapı ile gövde açısı arasındaki ilişki.

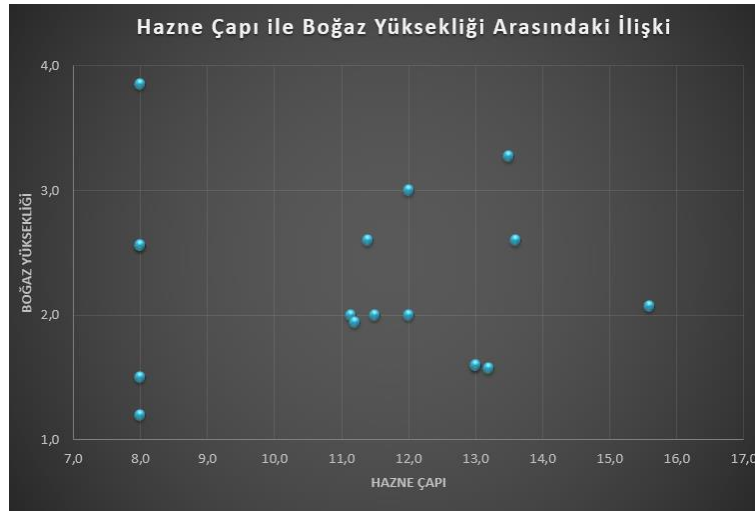
Çizelge 4.12 Hazne çapı ve gövde açısı verileri.

Φ_{hazne}	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$D_{\text{boğaz}}$	6,6	7,3	8,0	8,6	9,3	9,9	10,5	11,2	11,8
ϕ_{bel}	10,1	11,2	12,2	13,3	14,3	15,4	16,4	17,4	18,4
$H_{\text{gövde}}$	14,2	14,8	15,5	16,1	16,6	17,2	17,7	18,2	18,6
$\beta_{\text{gövde}}$	83,00	82,55	82,13	81,72	81,34	80,97	80,61	80,27	79,93

4.15. BOĞAZ YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ

Boğaz yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla aşağıda Çizelge 4.13'te verilen değerler kullanılacaktır. Ancak, Şekil 4.13'te görüldüğü üzere hazne çapı ile arasında herhangi bir ilişki yoktur.

Bu doktora çalışması kapsamında ise boğaz yüksekliğinin 2 ile 3 m arasında alınması önerilmekle birlikte EK B'de verilen fırın tasarımları için 2,5 m alınmıştır. Şarj malzemesi stok yüksekliği ise 1,2 m olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.13 Hazne çapı ile boğaz yüksekliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.13 Hazne çapı ve boğaz yüksekliği verileri (World Steel Association 2014).

	YF_1	YF_4	YF_8	YF_9	YF_12	YF_13	YF_14	YF_15	YF_16
$H_{boğaz}$	2,0	3,9	2,6	1,5	2,6	1,2	2,6	2,1	2,6
\emptyset_{hazne}	11,5	8,0	8,0	8,0	13,6	8,0	11,4	15,6	8,0

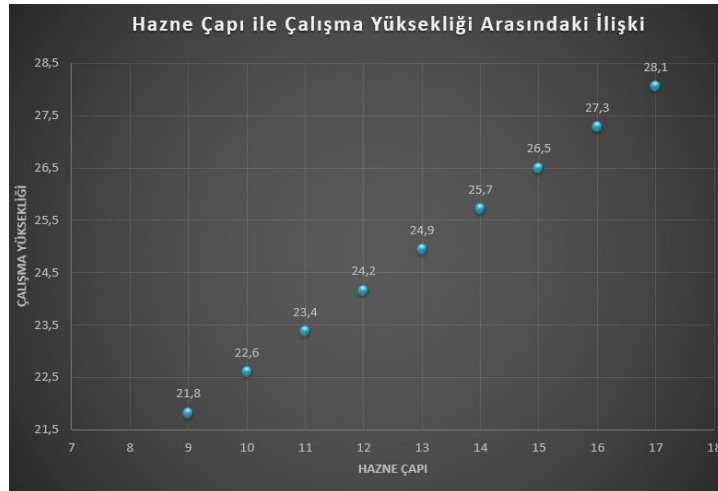
	YF_18	YF_19	YF_20	YF_27	YF_28	YF_31	YF_33	YF_34
$H_{boğaz}$	2,0	3,3	2,0	1,6	3,0	1,9	1,6	1,6
\emptyset_{hazne}	11,1	13,5	12,0	13,2	12,0	11,2	13,0	13,0

4.16. ÇALIŞMA YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ

Hazne çapına bağlı olarak çalışma yüksekliğinin belirlenmesinde;

- 4.15'teki boğaz yüksekliği,
- 4.12'deki gövde yüksekliği,
- 4.11'deki bel yüksekliği,
- 4.08' deki karın bölgesinin yüksekliği,
- 4.07'deki tüyer başlangıç seviyesi ile karın bölgesi arasındaki mesafe kullanılacaktır.

Bu bağlantılar doğrultusunda hesaplanan hazne çapına toplam çalışma yüksekliği Şekil 4.14 ve Çizelge 4.14' te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Hazne çapı ile çalışma yüksekliği arasındaki ilişki.

Çizelge 4.14 Hazne çapı ile çalışma yüksekliği arasındaki ilişki.

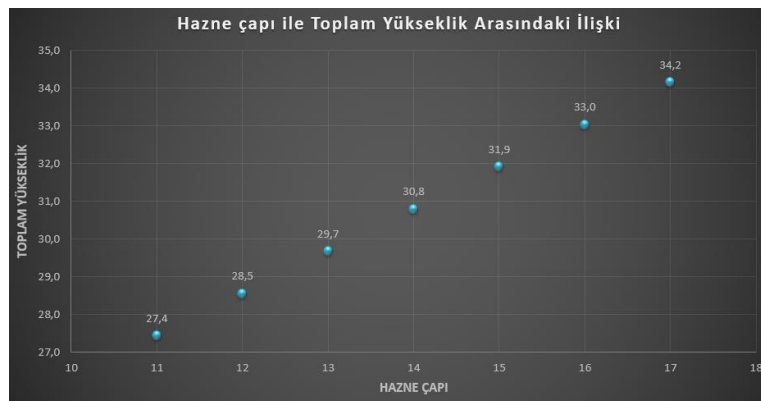
\emptyset_{hazne}	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H_{bel}	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$H_{\text{tüyer-karın}}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$H_{\text{karın}}$	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1
$H_{\text{gövde}}$	14,3	14,9	15,5	16,0	16,6	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4
$H_{\text{boğaz}}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$\sum H_{\text{çalışma}}$	21,0	21,8	22,6	23,4	24,2	24,9	25,7	26,5	27,3	28,1

4.17. TOPLAM YÜKSEKLİĞİNİN TAYİN EDİLMESİ

Hazne çapına bağlı olarak toplam çalışma yüksekliğinin belirlenmesinde aşağıdaki geometrik parametreler kullanılmıştır:

- 4.15'teki boğaz yüksekliği,
- 4.12'deki gövde yüksekliği,
- 4.11'deki bel yüksekliği,
- 4.08'deki karın bölgesinin yüksekliği,
- 4.07'deki tüyer başlangıç seviyesi ile karın bölgesi arasındaki mesafe,
- 4.05'teki hazne yüksekliği,

Bu bilgiler doğrultusunda hesaplanan hazne çapına bağlı toplam yükseklik Şekil 4.15 ve Çizelge 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Hazne çapı ile toplam yükseklik arasındaki ilişki.

Çizelge 4.15 Hazne çapı ile toplam yükseklik arasındaki ilişki.

\emptyset_{hazne}	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$H_{\text{karın}}$	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4	4,7	5,1	5,4	5,8	6,1
H_{bel}	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$H_{\text{tüyer-karın}}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$H_{\text{karın}}$	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1
$H_{\text{gövde}}$	14,3	14,9	15,5	16,0	16,6	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4
$H_{\text{boğaz}}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$\sum H_{\text{toplam}}$	24,1	25,2	26,3	27,4	28,5	29,7	30,8	31,9	33,0	34,2

4.18. NİHAİ DURUMDAKİ BAF DEĞERLERİ

Şimdiye kadar elde edilen sonuçları kullanarak hazne çapı 8 m'den 17,5 m'ye kadar 20 değişik fırın için hesaplanan BAF değerleri Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16 Hazne çapına göre BAF değerleri.

BAF	8,6	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,4	8,4	8,4	8,4
\emptyset_{hazne}	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
BAF	8,4	8,4	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,6	8,6
\emptyset_{hazne}	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5

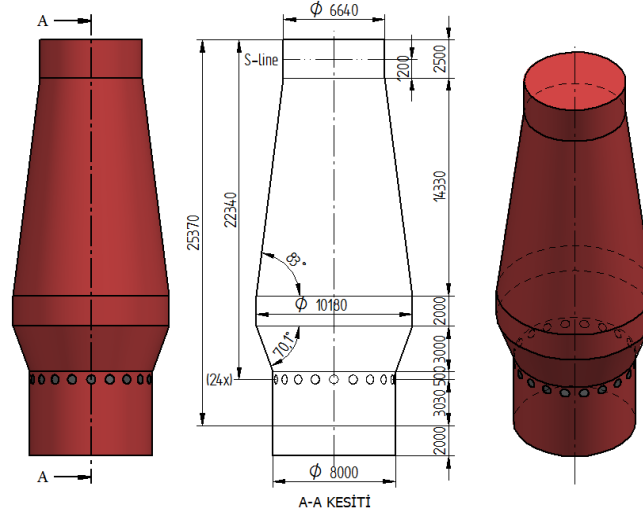
Daha önceki bölümlerde 10 yıl boyunca aşınmaya maruz kalmamış fırınların BAF ortalama değeri daha önce 7,8 olarak bulunmuştu. Çizelge 4.16'daki BAF değerleri ise ortalama referans değerinin üzerindedir.

4.19. YENİ TASARIM KRİTERLERİNE GÖRE DEĞİŞİK FIRIN GEOMETRİLERİ

Bir önceki bölümde ortaya konulan yeni tasarım kriterlerine göre hazne çapı 8 m'den 16,5 m'ye kadar olan fırınlar için ayrı ayrı tasarım yapılmıştır. Tasarlanan fırın geometrilerinden hazne çapı 8 m ila 16,5 m olan fırınlar bu bölümde, diğerleri ise EK-1'de verilmiştir.

4.19.1. Hazne Çapı 8 m için Fırın Geometrisi

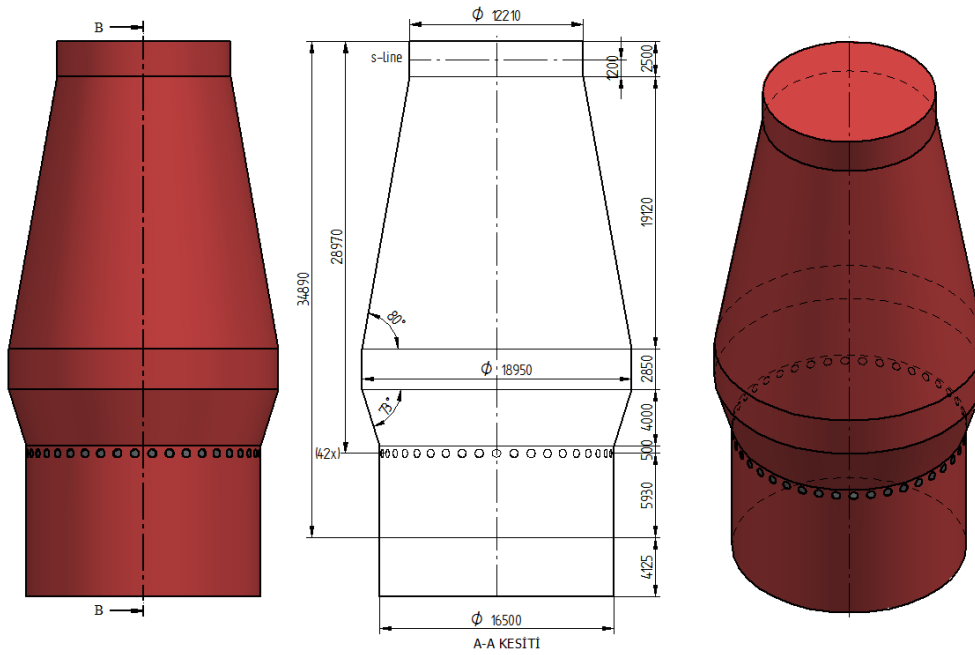
$$V_{\text{çalışma}} = 1283 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 1385 \text{ m}^3$$



Şekil 4.15 Hazne çapı 8 m için fırın geometrisi.

4.19.2. Hazne Çapı 16,5 m için Fırın Geometrisi

$$V_{\text{çalışma}} = 5741 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 7008 \text{ m}^3$$



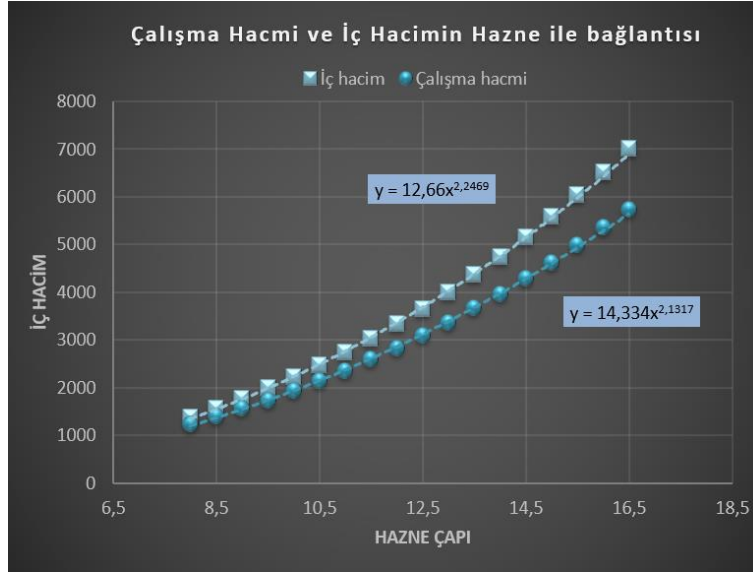
Şekil 4.16 Hazne çapı 16,5 m için fırın geometrisi.

4.20. NİHAİ DURUMDA HAZNE ÇAPINA BAĞLI ÇALIŞMA HACMİ VE İÇ HACİM DEĞERLERİ

Modelleme sonrasında hazne çapları 8 ile 16,5 m arasında değişen 17 adet firma ait katı modellerin yardımıyla çalışma ve iç hacimleri tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplama ait eşitlikler aşağıda ve hazne çapına bağlı sonuçlar ise grafik halinde Şekil 4. 18’de verilmiştir.

$$V_{i\text{ç hacim}} = 12,66 \times \phi_{\text{hazne}}^{2,2469} \quad (4.19)$$

$$V_{\text{çalışma}} = 14,334 \times \phi_{\text{hazne}}^{2,1317} \quad (4.20)$$



Şekil 4.17 Hazne çapına göre nihai firm çalışma hacmi ve iç hacmi.

BÖLÜM 5

MEVCUT YÜKSEK FIRIN GEOMETRİLERİNDE AŞINMANIN ÖMRÜNÜN UZATILMASINA YÖNELİK YENİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bir önceki bölümde bakır panel soğutucuların kullanıldığı fırınlar için modern yüksek fırın tasarım kuralları önerilmiştir. Bu kurallar uygulanarak yeni bir alana yeni bir yüksek fırın yapılabilir veya modernizasyon ile fırının mevcut yerinde profili tamamen yenilenebilir.

Kimi zaman mali ve diğer kısıtlar nedeniyle açık araziye yeni yüksek fırının yapılması ya da mevcut fırın profilinin yerinde komple değişmesi tercih edilen bir seçenek olmayabilir. Bu durumda mevcut fırın profili korunarak minimum modifikasyon ile aşınma problemine çözüm bulmak gerekmektedir. İşte bu bölümde mevcut fırın profili üzerinde aşınma problemi riskini azaltmak ya da engellemek için çözüm önerileri ortaya konulacaktır.

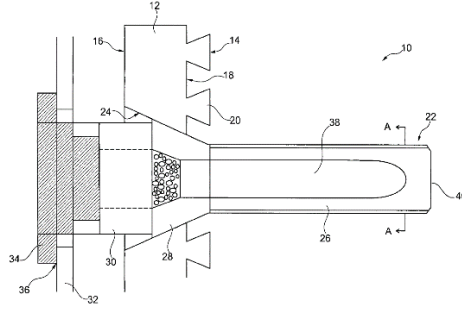
5.1. MEVCUT PROFİLDE KORUYUCU KATMAN OLUŞTURMAYA YÖNELİK ÇÖZÜMLER

Panel soğutucuların korunmasındaki en önemli faktör önünde katman tabakasının oluşturulmasıdır. Ancak bu sayede panel soğutucu, fırın malzemesinin aşağı yöndeki sürtünme ve aşındırma etkisinden kurtulabilir. Özellikle fırın profili ve panel soğutucunun bulunduğu yerden kaynaklı koruyucu katman tabakası oluşturmak zor olabilir. İşte bu durumda fırın profilini değiştirmeden koruyucu katman tabakası oluşumunu kolaylaştırıcı çözümlerin uygulanması gerekmektedir

5.1.1. PW/ Lüksemburg Firmasının Eklenti Çözümleri

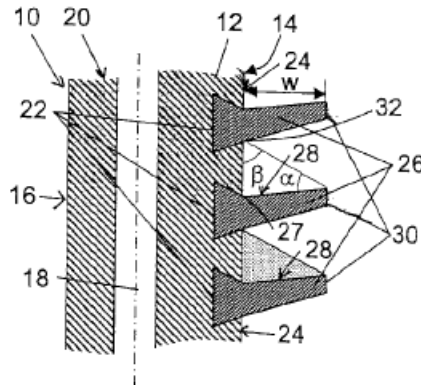
Koruyucu katman tabakası oluşumuna yönelik ilk çözüm PW/ Lüksemburg firmasının numaralı patentli ürünü olup Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Koruyucu katman tabakasının oluşumu için duvar önündeki malzemenin indirgenmiş olması gerekmektedir. Kimi zaman hem fırın geometrisi hem de prosten kaynaklı nedenlerle duvar önündeki malzeme indirgenmez ve

koruyucu katman tabakası oluşmaz. Firma, panel soğutucu üzerine yerleştirmiş olduğu eklenti ile türbülans oluşturur. Bu sayede indirgenmiş ve duvara göre daha sıcak malzeme panel soğutucu önüne gelerek burada koruyucu katman tabakası oluşumunu sağlar (Luxemburg Patent No. US20130316295 A1 2013).



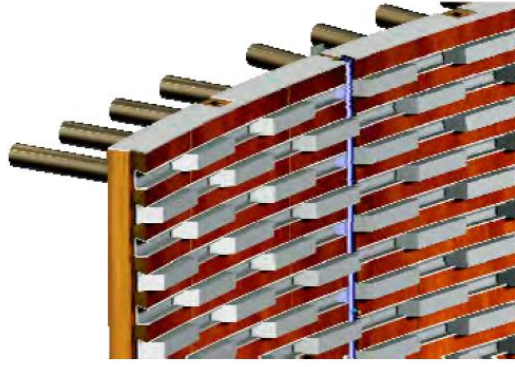
Şekil 5.1 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-1 (Luxemburg Patent No. US20130316295 A1 2013).

PW firmasında ait diğer bir tasarımda Şekil 5.2 'de görülen US 8,920,709 B2 numaralı patentli ürünüdür. Panel soğutucu eklenti tasarımında şarj malzemesi şev açısı dikkate alınmıştır. Eklentiler arasına dolan şarj malzemesi hem doğal bir koruma sağlamakta, hem de koruyucu katman oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Luxemburg Patent No. US 8,920,709 B2 2014).



Şekil 5.2 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-2 (Luxemburg Patent No. US 8,920,709 B2 2014).

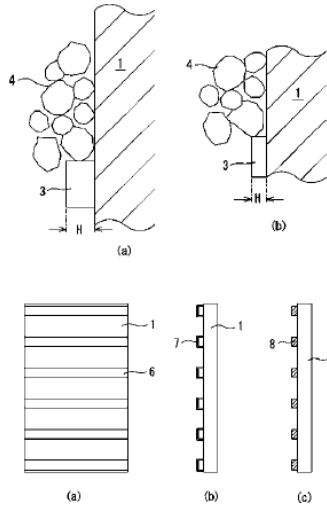
Firmaya ait son ürün ise panel soğutucu kanalları üzerine yerleştirilen sac ve döküm eklentileridir. Bu eklentiler panel önündeki şarj malzemesini yavaşlatır ve eklenti üzerine malzeme birikir. Hem malzemenin yavaşlaması hem de birikinti nedeniyle koruyucu katman tabakası oluşarak panel soğutucuyu aşınmaktan korur (Simoes and Castagnola 2014) (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 PW firmasına panel soğutucu eklentisi-2 (Simoes and Castagnola 2014).

5.1.2. Nippon Steel Firması Panel Soğucu Çözümü

Firmanın Çözümü JP2011219825 (A) patent numarasıyla Şekil 5.4' de verilmiştir. Firma koruyucu katman oluşturmak için panel soğutucu önüne bakır ve bakır alaşımlarına göre sert çok sayıda eklenti koymuştur. Bu sayede şarj malzemesinin aşındırıcı etkisini en aza indirmeyi amaçlamıştır (Japonya Patent No. JP2011219825 (A) 2014).



Şekil 5.4 Nippon Steel firmasına ait özet panel soğutucu tasarımı (Japonya Patent No. JP2011219825 (A) 2014).

5.1.3. Karın Açısının Panel Soğutucu Yardımı ile Modifikasyonu

Bu doktora çalışması kapsamında türetilen **BAF** ve **BAF_v1** değerleri karın açısının aşınma üzerinde çok etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla, panel soğutucu üzerinden karın açısının azaltılması koruyucu katman oluşturma yeteneğini önemli miktarda artıracaktır.

Hunger et al (2014) mevcut fırın profili koruyarak karın bölgesindeki panel soğutucu açılarını başarılı bir şekilde değiştirmiş ve sonuçları paylaşmışlardır.

5.1.4. Doktora Çalışması Kapsamında Çözüm Önerisi

Bu doktora çalışması kapsamında mevcut fırın profili kullanılarak, aşınma probleminin önüne geçilmesi amacıyla, panel soğutucu alt bölgesine eklenti ilavesi önerilmektedir. Eklentiler aşındıkça, fırın dışından sürekli beslenebilir şekilde olmalıdır. Bulunduğu konuma göre eklentiler; bakır, bakır alaşım, demir veya çelik türlerinde, soğutmalı veya soğutmasız tipte olabilirler. Eklentiler parçalı olmalı, homojen aşınmama durumunda aşınan parça fırın içerisine atılabilmeli ve yeni beslenen eklenti yerine itilebilmelidir. Bu itme özelliği sayesinde de, eklentilerin fırın içine girme mesafeleri kontrol edilebilir.

Eklenti ilavesine ek olarak, ayrıca bir panel soğutucu kanatçıkları bu doktora çalışması kapsamında önerilmektedir. Özellikle fırın karın bölgesinde koruyucu katman tabaka oluşumu diğer bölümlere nisbeten çok hızlı ve kolay bir şekilde olmaktadır. Bunun nedeni, bu bölgede yoğun curuf olmasından ve geometrik olarak curuf soğutucu kanallarına kolayca dolmasındandır. İşte bu amaçla PW firmasının US 8,920,709 B2 numaralı patentindeki gibi malzemeyi ya da ergimiş malzemeyi kolayca tutabilecek eklenti tırnaklara ihtiyaç vardır. Ancak önerilen tırnak iyi soğutma için bakır olmalı ve aşınmayı azaltmak için tırnak üzeri ve önü sertleştirilmiş olması önerilmektedir.

5.2. FIRIN PROFİLİNDEKİ LOCAL MODİFİKASYON İLE YAPILABİLECEK ÇÖZÜMLER

Bu çözümlerde, aşınma üzerine en fazla etkisi olan karın açısı ve yüksekliği modifikasyonlarından bahsedilecektir.

Günümüzde fırın alt bölgesinde yapılan hataların başında, hazne verimliliğini artırmak amacıyla hazne çapının artırılması ve buna bağlı olarak karın açısının düşürülmesi gelmektedir. Bu modifikasyon neticesinde panel aşınma riski artmakta ve aşınma ömrü ciddi miktarda düşmektedir.

5.2.1. Fırın Bel, Karın ve Tüyer Bölgesinde Yapılabilecek Modifikasyon Seçenekleri

Aşınma riskini azaltmak amacıyla fırın bel, karın ve tüyer bölgesinde üç farklı şekilde modifikasyon yapılması bu doktora çalışması kapsamında önerilmiştir;

- **Karın açısının düşürülmesi ve bel bölgesinin aşağı uzatılması**
- **Karın açısının düşürülmesi ve tüyer bandının yukarı uzatılması**
- **Karın açısının düşürülmesi ve tüyer bandının fırına doğru yatırılması,**

Bu amaçla fırının bel bölgesinden üstü askıya alınmalı, modifikasyon seçeneğine göre ring halinde tüyer, karın ve bel bölgesi değiştirilmelidir. Burada açı değişiminden kaynaklı karın-bel bölgesi ile tüyer ringi-hazne arasındaki bölgelerde gerilmeler müsaade edilen sınırları aşabilir. Bu durumda yapılacak mukavemet kontrolü neticesine göre bağlantı bölgelerinde kalınlık artırılması gerekebilir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

- Bu çalışmada, bazı literatürde savunulanların aksine, karın bölgesi yüzey basıncının (şarj malzemesinden kaynaklı) artması ile panel soğutucu aşınmasının azalacağı düşünülmüştür. Hem bu düşünce hem de şarj malzeme hızının aşınmaya etkisi dikkate alınarak yüksek fırınlar karın bölgesindeki erken aşınma riski için iki yeni yaklaşım geliştirilmiştir. Bakır soğutma panellerinde meydana gelebilecek erken aşınmayı önlemek için geliştirilen bu iki modelin güvenilirliği, dünyada halen faal olan 34 adet yüksek fırın verileri ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Sonuçlar, bu yeni yaklaşımların bakır panel soğutucuların erken aşınması probleminin çözümüne katkı sağlayacağını ortaya koymuştur.
- BAF ve BAF_v1'in yüksek fırın tasarımcıları tarafından kullanılmasının demir ve çelik endüstrisine büyük fayda sağlayacağı öngörülmektedir. Bunlardan en önemlisi, fırın soğutma sisteminin aşınmasından kaynaklanan hasarların en az 10 yıl engellenerek, yüksek fırın bakım, duruş ve yenileme maliyetlerin önüne geçilmesidir. Ayrıca yüksek BAF ve BAF_v1 değerlerine göre tasarlanan fırınlarda koruyucu katman tabaka oluşumu kolaylaşacağı için fırının gövdeden kaybettiği ısı miktarı düşecektir. Bu nedenle birim üretilen pik demir başına yakıt maliyetleri ve atmosfere atılan karbon miktarı da azalacaktır.
- Verileri incelenen yüksek fırınların risk faktörleri, yeni aşınma modeline göre ayrı ayrı hesaplanmış ve fırınlar yıllara bağlı aşınma durumuna göre kategorize edilmiştir. Son olarak, bakır panel soğutucuların 3 ile 10 yıl arasındaki zaman diliminde her yıl için aşınma ihtimali hesaplanmıştır.
- Tasarım parametreleri olarak karın açısı, karın yüksekliği, hazne çapı, bel çapı, bel yüksekliği, gövde yüksekliği, gövde açısı, boğaz yüksekliği, boğaz çapı, tüyer ile karın

başlangıcı arasındaki mesafe ve fırın çalışma hacminin etkileri lojistik regresyon analizi yöntemi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre;

- Karın açısı, karın yüksekliği, hazne çapı ve boğaz çapı ölçüleriyle panel soğutucuda meydana gelen aşınma arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır.
 - Bel çapı, gövde yüksekliği ve çalışma hacmi ile aşınma arasındaki ilişki ise diğerlerine göre düşük seviyededir.
- Yüksek fırın operasyon parametrelerinden pelet oranı, kok oranı, sinter oranı, parça cevher oranı, cüruf oranı, tüyer hızı, tüyer hızının tüyerler arasındaki mesafeye oranı, fındık kok oranı, toplam yakıt oranı, oksijen zenginleştirme oranı ve sıcak hava debi miktarı lojistik regresyon analizi yardımıyla analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre;
 - Tüyer hızı ve pelet oranı ile aşınma arasında güçlü ilişki gözlenmiştir.
 - Hava miktarı ve sinter oranı ile aşınma arasında normal bir ilişki gözlemlenmiştir.
 - Bu çalışmada elde edilen sonuçlar karın açısının panel soğutucu aşınmasında en önemli parametre olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle tasarım sürecinde karın açısının korunmasına yönelik önlem alınmalıdır. Özellikle belli servis ömrü sonucunda fırın refrakteri aşınmakta ve karın açısı değişmektedir. Dolayısıyla, fırın karın bölgesindeki panel soğutucuların açısı, önündeki refrakter açısıyla mümkün mertebe aynı ya da yakın olmalıdır.
 - Günümüzde bakır plaka soğutma-refrakter kombinasyonlu soğutma sistemi, daha fazla iç hacme sahip olmak ve montaj kolaylığı elde ederek bakım durumunda süre kazanmak amacıyla bakır panel soğutma sistemine çevrilmektedir. Bu değişim esnasında fırın profili konusunda çok dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü bakır plaka sisteminin katman oluşturma yeteneği, panel soğutma sisteminden (eklentisiz hali) daha iyidir. Dolayısıyla fırınların panel soğutma sistemine dönüşümünde bu doktora çalışması kapsamındaki tasarım kurallarının uygulanması önerilmektedir.

- Bu çalışma kapsamında 10 yıllık süre diliminde, erken aşınma riski düşük olan fırınlar, yeni aşınma modelini uygulamak üzere 34 fırın arasından seçilmiştir. Seçilen bu fırınların hazne, karın, bel, gövde ve boğaz bölgelerinin hazne çapıyla ilişkisi, doğrusal ve üstel fonksiyonlarla ifade edilmiştir. Son olarak bu fonksiyonlar tasarım kuralları olarak kabul edilmiş ve buna göre hazne çapı 8 m ila 16,5 m arasında değişen 18 farklı yüksek fırın tasarım önerisi yapılmıştır.
- Amerikan Demir Çelik Birliği'nin AISE 27 numaralı teknik raporunda şarj malzemesinden kaynaklı fırın duvar basınçlarının stok seviyesinden tüyer bölgesine kadar lineer olarak arttığı ifade edilmektedir. Fırın duvar basınçlarını incelemek amacıyla gerçekleştirilen DEM analizleri ve deneysel çalışmalarla yüksek fırın karın-bel ve bel-gövde birleşimlerinde ani basınç artışlarının olduğu görülmüştür. Bu bilgiyi destekleyici mahiyette son yıllarda fırın gövdesinin alt kısımlarında görülen panel soğutucu aşınmalarına bu basınç piklerinin neden olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, AISE 27 numaralı teknik raporun bu gözle incelenmesi bu doktora çalışması kapsamında önerilmektedir.

Bu Çalışmanın Devamında Yapılabilecek Çalışmalar

- Bölüm 5.1.4'te mevcut profilin değiştirilmeden aşınma ömrünü artırmaya yönelik, özet halinde verilen alternatif çözüm üzerine detaylı bir çalışma yapılabilir. Bu amaçla, önerilen tip panel soğutucu ve eklenti tasarlanarak endüstriyel bir fırında uygulanarak çalışmanın güvenilirliği ve sonuçları gözlemlenebilir.
- Fırın kesit değişim bölgelerinde yer alan basınç piklerinin, yüksek fırın sacı tasarımında kullanılan mukavemet hesaplarına adapte edilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir. Bu sayede özellikle gövdenin altında yer alan basınç pikleri etkisinin fırın gövde sacı üzerine etkileri kontrol altında tutulabilir.
- Bu doktora kapsamında önerilen fırın karın bölgesindeki lokal modifikasyonlara yönelik değişimi kolaylaştırmak ve hızlandırmak için özel değişim metotları üzerine çalışma yapılabilir.

- Bakır plakalar için en önemli aşınma önleme aracı koruyucu katman tabakasıdır. Bu tabakanın ergimiş metal yerine cürufan müteşekkil olması aşınmayı önleme yanında ısı kaybını da minimize edecektir. Dolayısıyla hem panel soğutucuları aşınmaya karşı korumak hem de duvar ısı kaybını azaltmak amacıyla panel soğutucu önüne dışarıdan bir şekilde ergitilmiş cüruf enjeksiyonuna yönelik çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- AISE Technical Report.** (1984) *New Pressure-Containing Components for Blast Furnace Installations*. Association of American Iron and Steel Engineers, Pittsburgh, 22 pp.
- Blanco I H** (2016) Determinación de la Viabilidad de los Staves de Acero Para la Refrigeración de la Coraza de los Hornos Altos a Partir de la Experimentación Industrial Y la Modelización Matemática. *Doctoral Thesis*, Gijón: Universidad de Oviedo, 203 pp.
- Cegna G, Lingiardi O and Musante R** (2014) Copper Staves Wear — Ternium Siderar BF2 Experience. *AISTECH 2014*, 5-8 Mart 2014, Indianapolis, 683-694
- Cheng S, Qianand L and Zhao H** (2007) Monitoring Method for Blast Furnace Wall With Copper Staves. *Journal of Iron and Steel Research International*, 14: 1-5.
- Copper-Nickel Alloys: Properties, Processing, Applications.** (t.y.) *Copper Development Association Inc.* Adres: https://www.copper.org/applications/marine/cuni/properties/DKI_booklet.html
- Crudu I, Lonescu M P, Munteanu V, Sandu I F and Nedelcu P** (1998) A Tribosystemic Approach to Refractory Lining Destruction in Blast Furnaces. *WEAR*, 216(2): 251-261.
- Eurocode-1** (2006) Basis of Design and Actions on Structures. Part 4: Actions in Silo and Tanks-EN 1991-4. European Committee for Standardization, Brussels, 107 pp.
- Fact Energy 2014.** (10.12.2016) World Steel Association. Adres: https://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/02/text_filesfile0/document/fact_energy_2014.pdf
- Fu D, Chen Y, Zhao Y, D'Alessio J, Ferron K J and Zhou C Q** (2014) CFD Modeling of Multiphase Reacting Flow in Blast Furnace Shaft with Layered Burden. *Applied Thermal Engineering*, 66: 298-308.
- Takufumi H, Tarumi M and Toru A** (2014) *Japonya Patent No. JP2011219825 (A)*.
- Hosmer D W and Lemeshow S** (2000) *Applied Logistic Regression*. Second edition, John Wiley, New York, 1
- How are supernovas formed and are there any getting ready to form now?** (t.y) NASA. Adres: <https://spaceplace.nasa.gov/review/dr-marc-space/supernovas.html>
- Hunger J, Mernitz J, Buchwalder J, Boert F, Dratner C and Hebel R** (2014) Proven Inclined Copper Stave Cooling System with Bosh Angle Adaptation to Ensure Stable BF Operation Conditions. *METEC&2nd ESTAD*, 15-19 Haziran 2015, Dusseldorf.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ichida M, Anan K, M Takao, Kakiuchi K, Morizane Y, Yamada I and Nakayama T** (2006) Inner Profile and Burden Descent Behavior in the Blast Furnace. *Nippon Steel Technical Report No. 94*, 80-86.
- Joubert H** (1997) Analysis of Blast Furnace Lining/ Cooling Systems Using Computational Fluid Dynamics. *Master Thesis*, Rand Africann University, Johannesburg, 208 pp.
- Laar R and Engel E** (2015) Modern Blast Furnace Design, *METEC&2nd ESTAD*, 15-19 Haziran 2015, Dusseldorf, 1-7
- Liu Q, Cheng S, Li Y, Niu J and Liu D** (2015) Thermal Deformation and Stress Analysis of Blast Furnace Copper Stave. *AISTECH 2015*, 4-7 Mayıs 2015, Cleveland, 1-12
- Lüngen H, Schulte M, Voss M, Marx K, Rüter H, Clixby G, . . . Merollari J** (2000) *Investigations on Blast Furnace Wear Phenomena Especially in the Hearth. EUR 19347 EN*, Technical Steel Research (European Commission), Brussels, 169 pp.
- Matsu Y, Shibata K, Yoshida Y and Ono R** (2005) The Principle of Blast Furnace Operational Technology and Centralized Gas Flow by Center Coke Charging. *Kobelco Technology Review*, 26: 12-20.
- Maggioli N and Garratt D** (2014). *Luxemburg Patent No. US 8,920,709 B2* .
- Maggioli N, Mousel N, Simoes J P and Tockert P** (2013) *Luxemburg Patent No. US20130316295 A1*.
- Nogami H, Mansheng C Y and Jun-ichiro N** (2005) Multi-Dimensional Transient Mathematical Simulator of Blast Furnace Based on Multi-Fluid and Kinetic Theories. *Computers and Chemical Engineering*, 2438-2448.
- Origin and History of Chemicals.** (t.y.) Herchel. Adres: <https://herschel.jpl.nasa.gov/chemicalOrigins.shtml>
- Peacey W G and Davenport W** (1979) *The Iron Blast Furnace: Theory and Practice*, Butterworth&Co., Oxford (1998), 41 pp.
- Pomeroy D** (2014) Force Balance in the Interior of the Blast Furnace. *Doctoral Thesis*, Mc. Master University, Hamilton, 120 pp.
- Premature Wear Of Copper Staves In Blast Furnaces** (2014) World Steel Association, ISBN 978-2-930069-78-4, Brussels, 59 pp.
- Prospecting inside a supernova.** (t.y) NASA. Adres: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/ast21dec99_1
- Raipala K** (2003) *On Hearth Phenomena and Hot Metal Carbon Content in Blast Furnace. Doctoral Thesis*, Helsinki University of Technology, Department of Materials Science and Rock Engineering, Helsinki, 83 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Shamlou P A** (1998) *Handling of Bulk Solids: Theory and Practice*. Butterworth&Co., Oxford, 41 pp.
- Shaw A, Sadri A, Cameron I, Jastrzebski M, Brown R and Hyde B** (2015) Preserving Copper Staves and Extending Blast Furnace Campaign Life. *AISTECH 2014*, 5-8 Mart 2014, Indianapolis, 715-722.
- Shimizu M, Yamaguchi A, Inaba S and Narita N** (1982) Dynamics of Burden Materials and Gas Flow in the Blast Furnace. *Tetsu-to-Hagane*, 68: 42-51.
- Simoes J P and Castagnola C** (2014) Cu-staves cooled BF's The Key for Efficient Operation and Long Campaign. 1st ESTAD & 31st JSI, 7-8 Nisan 2014, Paris.
- Singh D and Monsey E B** (1985) Grain Bin Wall Pressure: Theoretical and Experimental. *Canadian Agricultural Engineering*, 27: 44-48.
- Smith T and Allan M** (2011) New Method of Lining a Blast Furnace Bosh and Stack. *ECIC 2011- 6th European Coke and Ironmaking Congress*, Dusseldorf, 1-7.
- Soni M and Verma S** (2014).Thermal Analysis of Blast Furnace Cooling Stave Using CFD. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*, 2: 10-16.
- Sustainable Steel: At the core of a green economy.** (t.y) World Steel Association. Adres: <https://extranet.worldsteel.org/en/dam/jcr:639da64c-7434-4fd7-88f4-d01256c6808b/Sustainable+steel%253A+At+the+core+of+a+green+economy+%2528Rio%252B20%2529.pdf>
- Takahashi H, Kawai H and Suzuki Y** (2002) Analysis of Stress and Buoyancy for Solids Flow in the Lower Part of the Blast Furnace. *Chemical Engineering Science*, 57: 215-226.
- Walker D M** (1966) An Approximate Theory for Pressures and Arching in Hoppers. *Chemical Engineering Science*, 21: 975-997.
- Walker D M** (1967) A Basis for Bunker Design. *Powder Technology*. 1: 228-236.
- Walters J K** (1973) A Theoretical Analysis of Stresses in Silos with Vertical Walls. *Chemical Engineering Science*, 28: 13-21.
- Whitehead J** (t.y) *An Introduction to Logistic Regression [powerpoint style]* Adres: <http://www.appstate.edu/~whiteheadjc/service/logit/>
- Williams R V** (1983) *Control and Analysis in Iron and Steelmaking*. Butterworth Scientific Ltd., England, 35 pp.
- World Steel in Figures 2016 Infographic.** (t.y.) World Steel Association. Adres:<https://extranet.worldsteel.org/en/dam/jcr:3e04d6d8-9db5-466e-8c7d-d237958c1d23/World+Steel+in+Figures+2016+Infographic.pdf>

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Wright B, Zhou P Z, Zhou Z Y and Yu A B** (2011) Gas–Solid Flow in an Ironmaking Blast Furnace-I: Physical Modelling. *Powder Technology*, 208: 86-97.
- Wu L, Xu X, Zhou W, Su Y and Li X** (2008) Heat Transfer Analysis of Blast Furnace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51: 2824-2833.
- Wu L, Zhou W, Cheng H, Su Y and Li X** (2007) The Study of Structure Optimization of Blast Furnace Cast Steel Cooling Stave Based on Heat Transfer Analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 31: 1249-1262.
- Wu T and Cheng S** (2012) Model of Forming-Accretion on Blast Furnace Copper Stave and Industrial Application. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 19: 1-5.
- Xie N and Cheng S** (2010) Analysis of Effect of Gas Temperature on Cooling Stave of Blast Furnace. *Journal of Iron And Steel Research.*, 17: 1-6.
- Yeh C P, Ho C K, and Yang R J** (2012) Conjugate Heat Transfer Analysis of Copper Staves And Sensor Bars in A Blast Furnace for Various Refractory Lining Thickness. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39: 58-65.
- Zhang F** (2013) Design and Operation Control for Long Campaign Life of Blast Furnaces. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 20: 53-60.
- Zhang J, Chen Y, Fan Z, Hu Z, Yang T and Ariyama T** (2011). Influence of Profile of Blast Furnae on Motion and Stress of Burden by 3D-DEM. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 18: 1-11.

EK AÇIKLAMALAR A

EK A: Lojistik Refresyon Analizlerine ait Minitab Programı Çıktıları

- Pelet oranının (%) aşınma üzerine etkisi

Method

Link function Logit
Rows used 21
Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	5,182	5,182	5,18	0,023
Pelet oranı %	1	5,182	5,182	5,18	0,023
Error	19	22,728	1,196		
Total	20	27,910			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
18,57%	14,98%	26,73

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	1,974	0,975	
Pelet oranı %	-0,0768	0,0440	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Pelet oranı %	0,9261	(0,8496; 1,0094)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$
$$Y' = 1,974 - 0,0768 \text{ Pelet oranı \%}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	22,73	0,250
Pearson	19	20,47	0,367
Hosmer-Lemeshow	8	13,06	0,110

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	R
1	0,000	0,853	-1,959	-2,06	R

R Large residual

- **Kok oranının (kg/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,1480	0,1480	0,15	0,700
Kok oranı kg/tSM	1	0,1480	0,1480	0,15	0,700
Error	19	27,7622	1,4612		
Total	20	27,9102			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
0,53%	0,00%	31,76

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	1,82	3,53	
Kok oranı kg/tSM	-0,0038	0,0100	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Kok oranı kg/tSM	0,9962	(0,9768; 1,0160)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 1,82 - 0,0038 \text{ Kok oranı kg/tSM}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	27,76	0,088
Pearson	19	20,97	0,338
Hosmer-Lemeshow	8	7,33	0,501

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
15	1,000	0,523	1,139	1,37	X

X Unusual X

- **Sinter oranının (%) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	3,039	3,039	3,04	0,081
Sinter oranı %	1	3,039	3,039	3,04	0,081
Error	19	24,871	1,309		
Total	20	27,910			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
10,89%	7,30%	28,87

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-2,52	2,13	
Sinter oranı %	0,0436	0,0297	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Sinter oranı %	1,0446	(0,9855; 1,1073)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = -2,52 + 0,0436 \text{ Sinter oranı } \%$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	24,87	0,165
Pearson	19	20,58	0,361
Hosmer-Lemeshow	8	6,69	0,570

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
11	0,000	0,075	-0,394	-0,48	X

X Unusual X

- **Parça cevher oranının (%) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,4891	0,4891	0,49	0,484
Parça cevher %	1	0,4891	0,4891	0,49	0,484
Error	19	27,4211	1,4432		
Total	20	27,9102			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
1,75%	0,00%	31,42

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	0,110	0,701	
Parça cevher %	0,0351	0,0521	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Parça cevher %	1,0357	(0,9352; 1,1469)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 0,110 + 0,0351 \text{ Parça cevher } \%$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	27,42	0,095
Pearson	19	20,84	0,345
Hosmer-Lemeshow	7	4,31	0,744

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed	Fit	Resid	Std	
	Probability		Resid	Resid	
12	1,000	0,820	0,631	0,80	X

X Unusual X

• **Curüf oranının (kg/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,4315	0,4315	0,43	0,511
Cüruf oranı kg/tSM	1	0,4315	0,4315	0,43	0,511
Error	19	27,4786	1,4462		
Total	20	27,9102			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
1,55%	0,00%	31,48

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-1,66	3,33	
Cüruf oranı kg/tSM	0,0075	0,0116	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Cüruf oranı kg/tSM	1,0076	(0,9849; 1,0307)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -1,66 + 0,0075 \text{ Cüruf oranı kg/tSM}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	27,48	0,094
Pearson	19	21,13	0,330
Hosmer-Lemeshow	8	9,67	0,289

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
11	0,000	0,397	-1,005	-1,44	X

X Unusual X

- **Tüyer hızının (m/s) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 19
 Rows unused 3

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	11	(Event)
	0	8	
	Total	19	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	10,06	10,0592	10,06	0,002
Tüyer hızı m/s	1	10,06	10,0592	10,06	0,002
Error	17	15,80	0,9297		
Total	18	25,86			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
38,89%	35,03%	19,80

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-27,5	14,8	
Tüyer hızı m/s	0,1288	0,0693	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Tüyer hızı m/s	1,1374	(0,9930; 1,3029)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -27,5 + 0,1288 \text{ Tüyer hızı m/s}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	17	15,80	0,538
Pearson	17	12,74	0,753
Hosmer-Lemeshow	8	8,09	0,425

- **Tüyer hızının, tüyerler arasındaki mesafeye oranının aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 19
 Rows unused 3

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	11	(Event)
	0	8	
	Total	19	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,0000	0,00001	0,00	0,997
Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap	1	0,0000	0,00001	0,00	0,997
Error	17	25,8639	1,52141		
Total	18	25,8639			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
0,00%	0,00%	29,86

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	0,31	3,26	
Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap	0,001	0,156	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap	1,0006	(0,7374; 1,3577)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 0,31 + 0,001 \text{ Tüyer hızı/ Tüyerler arası çap}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	17	25,86	0,077
Pearson	17	19,00	0,329
Hosmer-Lemeshow	8	12,85	0,117

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed	Fit	Resid	Std Resid	
Probability					
4	0,000	0,580	-1,317	-1,75	X

X Unusual X

• **Fındık kok oranının (kg/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count
Aşınma Olasılığı	1	13 (Event)
	0	8
Total		21

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,456	1,456	1,46	0,228
Fındık kok oranı kg/tSM	1	1,456	1,456	1,46	0,228
Error	19	26,454	1,392		
Total	20	27,910			

Model Summary

Deviance	Deviance	AIC
R-Sq	R-Sq(adj)	
5,22%	1,63%	30,45

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-0,59	1,04	
Fındık kok oranı kg/tSM	0,0212	0,0194	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Fındık kok oranı kg/tSM	1,0215	(0,9833; 1,0611)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -0,59 + 0,0212 \text{ Fındık kok oranı kg/tSM}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	26,45	0,118
Pearson	19	20,93	0,341
Hosmer-Lemeshow	8	6,87	0,550

• **Yakıt oranının (kg/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count
Aşınma Olasılığı	1	13 (Event)
	0	8
Total		21

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,6866	0,6866	0,69	0,407
Yakıt oranı kg/tSM	1	0,6866	0,6866	0,69	0,407
Error	19	27,2236	1,4328		
Total	20	27,9102			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
2,46%	0,00%	31,22

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-8,5	11,2	
Yakıt oranı kg/tSM	0,0181	0,0225	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Yakıt oranı kg/tSM	1,0182	(0,9744; 1,0641)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -8,5 + 0,0181 \text{ Yakıt oranı kg/tSM}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	27,22	0,100
Pearson	19	21,79	0,295
Hosmer-Lemeshow	8	7,44	0,490

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
13	0,000	0,419	-1,043	-1,24	X
19	0,000	0,808	-1,818	-2,11	R

R Large residual
 X Unusual X

• **PCI oranının (kg/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,6200	0,6200	0,62	0,431
Yedek yakıt oranı kg/tSM	1	0,6200	0,6200	0,62	0,431
Error	19	27,2902	1,4363		
Total	20	27,9102			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
2,22%	0,00%	31,29

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-0,73	1,63	
Yedek yakıt oranı kg/tSM	0,0081	0,0105	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Yedek yakıt oranı kg/tSM	1,0082	(0,9875; 1,0292)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -0,73 + 0,0081 \text{ Yedek yakıt oranı kg/tSM}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	27,29	0,098
Pearson	19	20,75	0,351
Hosmer-Lemeshow	8	11,49	0,175

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
15	1,000	0,380	1,391	1,82	X

X Unusual X

- Oksijen zenginleştirme oranının (%) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 21
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,115	1,115	1,12	0,291
Oksijen zenginleştirme oranı %	1	1,115	1,115	1,12	0,291
Error	19	26,795	1,410		
Total	20	27,910			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
4,00%	0,41%	30,79

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-0,51	1,05	
Oksijen zenginleştirme oranı %	0,191	0,190	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Oksijen zenginleştirme oranı %	1,2100	(0,8344; 1,7549)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -0,51 + 0,191 \text{ Oksijen zenginleştirme oranı } \%$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	26,79	0,110
Pearson	19	20,25	0,380
Hosmer-Lemeshow	8	16,00	0,042

- **Hava miktarının (Nm³/TSM) aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 22

Response Information

Variable	Value	Count	
Aşınma Olasılığı	1	14	(Event)
	0	8	
	Total	22	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	2,655	2,655	2,66	0,103
Hava miktarı Nm3/tSM	1	2,655	2,655	2,66	0,103
Error	20	26,186	1,309		
Total	21	28,841			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
9,21%	5,74%	30,19

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	6,83	4,29	
Hava miktarı Nm3/tSM	-0,00665	0,00448	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Hava miktarı Nm3/tSM	0,9934	(0,9847; 1,0021)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 6,83 - 0,00665 \text{ Hava miktarı Nm3/tSM}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	20	26,19	0,160
Pearson	20	20,86	0,405
Hosmer-Lemeshow	8	10,44	0,236

- **Karın açısının aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
	Total	34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	5,027	5,027	5,03	0,025
Bosh Cos. Angle_without refract	1	5,027	5,027	5,03	0,025
Error	32	40,207	1,256		
Total	33	45,234			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq R-Sq(adj) AIC

11,11% 8,90% 44,21

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	2,34	1,42	
Bosh Cos. Angle_without refract	-15,56	7,74	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Bosh Cos. Angle_without refract	0,0000	(0,0000; 0,6699)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 2,34 - 15,56 \text{ Bosh Cos. Angle_without refract}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	40,21	0,151
Pearson	32	33,52	0,393
Hosmer-Lemeshow	7	8,96	0,256

- **Karın yüksekliğin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
	Total	34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	8,754	8,754	8,75	0,003
Bosh Height (m)	1	8,754	8,754	8,75	0,003
Error	32	36,480	1,140		
Total	33	45,234			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
19,35%	17,14%	40,48

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-8,14	3,06	
Bosh Height (m)	2,041	0,800	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Bosh Height (m)	7,7021	(1,6054; 36,9515)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = -8,14 + 2,041 \text{ Bosh Height (m)}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	36,48	0,268
Pearson	32	33,42	0,398
Hosmer-Lemeshow	8	8,64	0,373

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	R
28	1,0000	0,1017	2,1380	2,21	R

R Large residual

- **Boğaz çapının aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count
Wear / No wear	1	13 (Event)
	0	21
Total		34

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,146	1,146	1,15	0,284
Throat Diameter (m)	1	1,146	1,146	1,15	0,284
Error	32	44,088	1,378		
Total	33	45,234			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
2,53%	0,32%	48,09

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-2,80	2,28	
Throat Diameter (m)	0,255	0,245	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Throat Diameter (m)	1,2907	(0,7989; 2,0852)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = -2,80 + 0,255 \text{ Throat Diameter (m)}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	44,09	0,076
Pearson	32	34,00	0,371
Hosmer-Lemeshow	8	11,09	0,196

- **Boğaz yüksekliğinin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
	Total	34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,4531	0,4531	0,45	0,501
Throat Height (m)	1	0,4531	0,4531	0,45	0,501
Error	32	44,7808	1,3994		
Total	33	45,2339			

Model Summary

Deviance	Deviance	R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
		1,00%	0,00%	48,78

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	0,112	0,948	
Throat Height (m)	-0,291	0,436	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Throat Height (m)	0,7479	(0,3182; 1,7577)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 0,112 - 0,291 \text{ Throat Height (m)}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	44,78	0,066
Pearson	32	34,14	0,365
Hosmer-Lemeshow	7	4,65	0,702

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
28	1,000	0,528	1,130	1,28	X
29	1,000	0,528	1,130	1,28	X

X Unusual X

- **Gövde yüksekliğinin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
Total		34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,420	1,420	1,42	0,233
Stack Height (m)	1	1,420	1,420	1,42	0,233
Error	32	43,814	1,369		
Total	33	45,234			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
3,14%	0,93%	47,81

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-5,54	4,51	
Stack Height (m)	0,304	0,269	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Stack Height (m)	1,3552	(0,8004; 2,2946)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = -5,54 + 0,304 \text{ Stack Height (m)}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	43,81	0,080
Pearson	32	33,67	0,387
Hosmer-Lemeshow	8	2,79	0,947

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
12	0,000	0,131	-0,530	-0,59	X
20	0,000	0,610	-1,372	-1,52	X

X Unusual X

- **Bel yüksekliğinin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
Total		34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,0056	0,00564	0,01	0,940
Belly Height (m)	1	0,0056	0,00564	0,01	0,940
Error	32	45,2282	1,41338		
Total	33	45,2339			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
0,01%	0,00%	49,23

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-0,66	2,38	
Belly Height (m)	0,08	1,03	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Belly Height (m)	1,0803	(0,1439; 8,1113)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -0,66 + 0,08 \text{ Belly Height (m)}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	45,23	0,061
Pearson	32	34,00	0,371
Hosmer-Lemeshow	8	13,88	0,085

- **Bel çapının aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
Total		34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,1314	0,1314	0,13	0,717
Belly dia (without refractory)	1	0,1314	0,1314	0,13	0,717
Error	32	45,1025	1,4095		
Total	33	45,2339			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
0,29%	0,00%	49,10

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-1,27	2,22	
Belly dia (without refractory)	0,057	0,159	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Belly dia (without refractory)	1,0590	(0,7755; 1,4462)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = -1,27 + 0,057 \text{ Belly dia (without refractory)}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	45,10	0,062
Pearson	32	33,98	0,372
Hosmer-Lemeshow	8	7,70	0,464

- **Tüyer ile karın yüksekliğinin arasındaki mesafenin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count	
Wear / No wear	1	13	(Event)
	0	21	
Total		34	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,429	1,429	1,43	0,232
Height between the tuyere level	1	1,429	1,429	1,43	0,232
Error	32	43,805	1,369		
Total	33	45,234			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
3,16%	0,95%	47,81

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-3,37	2,53	
Height between the tuyere level	0,658	0,567	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Height between the tuyere level	1,9305	(0,6355; 5,8644)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -3,37 + 0,658 \text{ Height between the tuyere level}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	43,81	0,080
Pearson	32	33,68	0,386
Hosmer-Lemeshow	8	8,63	0,375

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
20	0,000	0,656	-1,460	-1,67	X

X Unusual X

- **Hazne çapının aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 33
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count
Wear / No wear	1	12 (Event)
	0	21
Total		33

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	1,187	1,187	1,19	0,276
Hearth Diameter (m)	1	1,187	1,187	1,19	0,276
Error	31	42,075	1,357		
Total	32	43,262			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
2,74%	0,43%	46,08

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-2,96	2,33	
Hearth Diameter (m)	0,203	0,193	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Hearth Diameter (m)	1,2255	(0,8399; 1,7882)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -2,96 + 0,203 \text{ Hearth Diameter (m)}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	31	42,08	0,089
Pearson	31	32,44	0,395
Hosmer-Lemeshow	8	20,86	0,008

- **Hazne yüksekliğinin aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 33
 Rows unused 1

Response Information

Variable	Value	Count
Wear / No wear	1	12 (Event)
	0	21
Total		33

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	2,668	2,668	2,67	0,102
Hearth Height (m)	1	2,668	2,668	2,67	0,102
Error	31	40,594	1,309		
Total	32	43,262			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
6,17%	3,86%	44,59

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	1,82	1,65	
Hearth Height (m)	-0,364	0,254	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Hearth Height (m)	0,6946	(0,4222; 1,1426)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 1,82 - 0,364 \text{ Hearth Height (m)}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	31	40,59	0,116
Pearson	31	31,54	0,439
Hosmer-Lemeshow	8	10,12	0,256

- Çalışma hacminin aşınma üzerine etkisi

Method

Link function Logit
 Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count
Wear / No wear	1	13 (Event)
	0	21
Total		34

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	0,3957	0,3957	0,40	0,529
Working volume (m3)	1	0,3957	0,3957	0,40	0,529
Error	32	44,8382	1,4012		
Total	33	45,2339			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
0,87%	0,00%	48,84

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	-1,13	1,12	
Working volume (m3)	0,000232	0,000372	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
Working volume (m3)	1,0002	(0,9995; 1,0010)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -1,13 + 0,000232 \text{ Working volume (m3)}$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	44,84	0,065
Pearson	32	33,93	0,375
Hosmer-Lemeshow	8	3,57	0,894

- **BAF fonksiyonunun aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 22

Response Information

Variable	Value	Count	
C2	1	14	(Event)
	0	8	
	Total	22	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	20,279	20,2789	20,28	0,000
C1	1	20,279	20,2789	20,28	0,000
Error	20	8,562	0,4281		
Total	21	28,841			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
70,31%	66,84%	12,56

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	10,67	5,54	
C1	-2,25	1,31	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
C1	0,1056	(0,0082; 1,3663)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 10,67 - 2,25 C1$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	20	8,56	0,987
Pearson	20	15,00	0,776
Hosmer-Lemeshow	8	5,89	0,659

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
4	0,000	0,235	-0,732	-1,04	X
22	0,000	0,929	-2,303	-2,42	R

R Large residual
 X Unusual X

- **BAF hız fonksiyonunun aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 22

Response Information

Variable	Value	Count
C6	1,0	14 (Event)
	0,0	8
	Total	22

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	11,61	11,6108	11,61	0,001
C5	1	11,61	11,6108	11,61	0,001
Error	20	17,23	0,8615		
Total	21	28,84			

Model Summary

Deviance	Deviance	R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
		40,26%	36,79%	21,23

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	7,98	3,51	
C5	-1,121	0,530	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
C5	0,3260	(0,1154; 0,9215)

Regression Equation

$$P(1,0) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 7,98 - 1,121 C5$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	20	17,23	0,638
Pearson	20	16,37	0,694
Hosmer-Lemeshow	8	7,44	0,490

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	R
19	0,000	0,848	-1,941	-2,02	R

R Large residual

- **BAF basınç fonksiyonunun aşınma üzerine etkisi**

Method

Link function Logit
 Rows used 22

Response Information

Variable	Value	Count	
C6	1,0	14	(Event)
	0,0	8	
	Total	22	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	20,663	20,6629	20,66	0,000
C4	1	20,663	20,6629	20,66	0,000
Error	20	8,178	0,4089		
Total	21	28,841			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
71,64%	68,18%	12,18

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	17,83	8,83	
C4	-24,3	12,6	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
C4	0,0000	(0,0000; 1,4252)

Regression Equation

$$P(1,0) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 17,83 - 24,3 C4$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	20	8,18	0,991
Pearson	20	12,03	0,915
Hosmer-Lemeshow	8	0,61	1,000

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
14	0,000	0,205	-0,678	-0,84	X
19	0,000	0,910	-2,193	-2,33	R

R Large residual

X Unusual X

• **BAF_v.1 değeri ile 3 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 34

Response Information

Variable	Value	Count
C2	1	5 (Event)
	0	29
	Total	34

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	4,096	4,0964	4,10	0,043
C1	1	4,096	4,0964	4,10	0,043
Error	32	24,299	0,7593		
Total	33	28,395			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq R-Sq(adj) AIC

14,43% 10,90% 28,30

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	0,17	1,10	
C1	-0,622	0,383	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
C1	0,5367	(0,2532; 1,1377)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 0,17 - 0,622 C1$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	32	24,30	0,833
Pearson	32	24,22	0,836
Hosmer-Lemeshow	8	5,07	0,750

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
23	0,000	0,478	-1,140	-1,30	X
30	0,000	0,440	-1,076	-1,20	X

X Unusual X

• **BAF_v.1 değeri ile 4 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 30

Response Information

Variable	Value	Count
Aşınma Olasılığı	1	7 (Event)
	0	23
	Total	30

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	7,107	7,1071	7,11	0,008
BAF_v.1	1	7,107	7,1071	7,11	0,008
Error	28	25,489	0,9103		
Total	29	32,596			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq R-Sq(adj) AIC

21,80% 18,74% 29,49

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	1,36	1,20	
BAF_v.1	-0,888	0,453	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,4116	(0,1695; 0,9993)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 1,36 - 0,888 \text{ BAF}_v.1$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	28	25,49	0,601
Pearson	28	21,72	0,794
Hosmer-Lemeshow	8	4,87	0,771

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid
21	0,000	0,729	-1,615	-1,82 X

X Unusual X

- **BAF_v.1 değeri ile 5 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
 Rows used 27

Response Information

Variable	Value	Count
C2	1	7 (Event)
	0	20
Total		27

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	6,109	6,1092	6,11	0,013
BAF_v.1	1	6,109	6,1092	6,11	0,013
Error	25	24,794	0,9918		
Total	26	30,903			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
19,77%	16,53%	28,79

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	1,31	1,19	
BAF_v.1	-0,839	0,446	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,4322	(0,1803; 1,0363)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 1,31 - 0,839 \text{ BAF}_v.1$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	25	24,79	0,474
Pearson	25	20,67	0,711
Hosmer-Lemeshow	8	6,94	0,543

• **BAF_v.1 değeri ile 6 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
 Rows used 24

Response Information

Variable	Value	Count	
C2	1	8	(Event)
	0	16	
Total		24	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	7,411	7,411	7,41	0,006
BAF_v.1	1	7,411	7,411	7,41	0,006
Error	22	23,142	1,052		
Total	23	30,553			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
24,26%	20,98%	27,14

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	2,08	1,36	
BAF_v.1	-0,998	0,514	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,3688	(0,1347; 1,0096)

Regression Equation

$P(1) = \exp(2,08 - 0,998 \text{ BAF}_v.1) / (1 + \exp(2,08 - 0,998 \text{ BAF}_v.1))$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
18	0,0000	0,8403	-1,9154	-2,12	R

R Large residual

• **BAF_v.1 değeri ile 7 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 24

Response Information

Variable	Value	Count	
C2	1	9	(Event)
	0	15	
	Total	24	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	8,858	8,858	8,86	0,003
BAF_v.1	1	8,858	8,858	8,86	0,003
Error	22	22,897	1,041		
Total	23	31,755			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq R-Sq(adj) AIC

27,90% 24,75% 26,90

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	2,61	1,47	
BAF_v.1	-1,107	0,547	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,3305	(0,1132; 0,9654)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 2,61 - 1,107 \text{ BAF}_v.1$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	22	22,90	0,408
Pearson	22	21,70	0,478
Hosmer-Lemeshow	8	7,94	0,440

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
18	0,0000	0,8952	-2,1239	-2,30	R

R Large residual

• **BAF_v.1 değeri ile 8 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 21

Response Information

Variable	Value	Count	
C2	1	13	(Event)
	0	8	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	17,45	17,4533	17,45	0,000
BAF_v.1	1	17,45	17,4533	17,45	0,000
Error	19	10,46	0,5504		
Total	20	27,91			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
62,53%	58,95%	14,46

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	10,33	5,27	
BAF_v.1	-3,44	1,89	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,0320	(0,0008; 1,3115)

Regression Equation

$$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = 10,33 - 3,44 \text{ BAF}_v.1$$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	10,46	0,941
Pearson	19	14,75	0,738
Hosmer-Lemeshow	8	5,89	0,660

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
4	0,000	0,095	-0,448	-0,54	X
18	0,000	0,919	-2,241	-2,37	R

R Large residual
X Unusual X

• **BAF_v.1 değeri ile 9 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 21

Response Information

Variable	Value	Count	
C2	1	14	(Event)
	0	7	
	Total	21	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	17,048	17,0482	17,05	0,000
BAF_v.1	1	17,048	17,0482	17,05	0,000
Error	19	9,685	0,5098		
Total	20	26,734			

Model Summary

Deviance Deviance

R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
63,77%	60,03%	13,69

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	9,51	4,68	
BAF_v.1	-2,92	1,59	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
BAF_v.1	0,0540	(0,0024; 1,2066)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 9,51 - 2,92 \text{ BAF}_v.1$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	19	9,69	0,960
Pearson	19	18,77	0,472
Hosmer-Lemeshow	8	9,10	0,334

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
4	0,000	0,238	-0,738	-0,94	X
8	0,000	0,169	-0,608	-0,77	X
18	0,000	0,943	-2,393	-2,51	R

R Large residual

X Unusual X

• **BAF_v.1 değeri ile 10 yıllık aşınma arasındaki ilişki**

Method

Link function Logit
Rows used 18

Response Information

Variable	Value	Count	
C11	1	14	(Event)
	0	4	
	Total	18	

Deviance Table

Source	DF	Adj Dev	Adj Mean	Chi-Square	P-Value
Regression	1	9,874	9,8745	9,87	0,002
C10	1	9,874	9,8745	9,87	0,002
Error	16	9,195	0,5747		
Total	17	19,069			

Model Summary

Deviance	Deviance	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC
51,78%	46,54%	13,19

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	VIF
Constant	8,11	4,71	
C10	-2,38	1,64	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
C10	0,0929	(0,0037; 2,3328)

Regression Equation

$P(1) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$

$Y' = 8,11 - 2,38 \text{ C10}$

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	16	9,19	0,905
Pearson	16	16,32	0,431
Hosmer-Lemeshow	8	8,43	0,393

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Observed Probability	Fit	Resid	Std Resid	
4	0,000	0,359	-0,944	-1,51	X
16	0,000	0,934	-2,332	-2,44	R

R Large residual

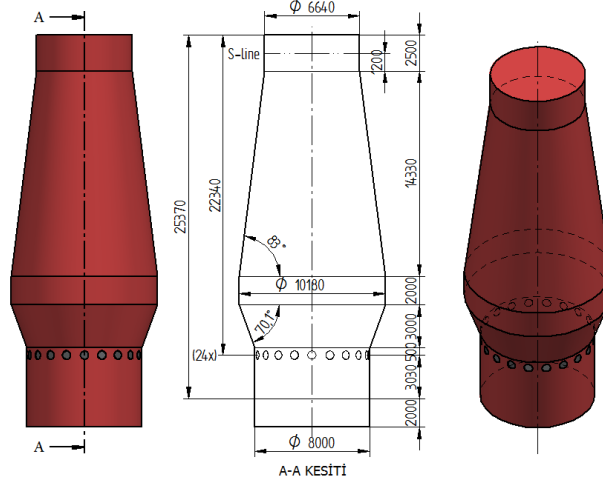
X Unusual X

EK B: Fırın Tasarımcıları ve Kullanıcılarına Önerilen Fırın Geometrileri

Bu bölümde hazne çapı 8 m ile 16 m arasındaki yüksek fırınlar için fırın geometrileri verilmiştir.

- Hazne çapı 8 m için fırın geometrisi

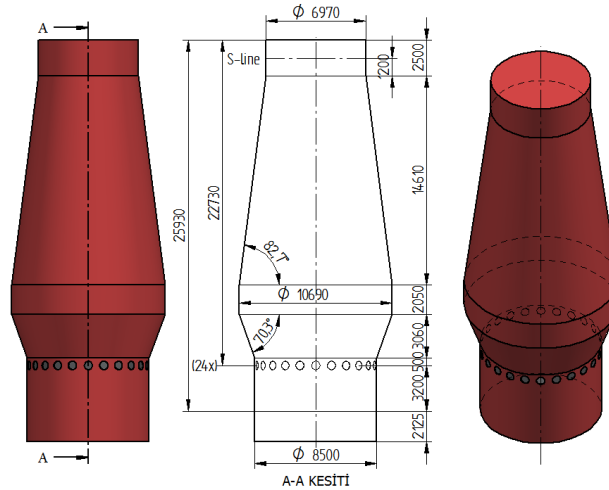
$$V_{\text{çalışma}} = 1283 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 1385 \text{ m}^3$$



Şekil B.1 Hazne çapı 8 m için fırın geometrisi

- Hazne çapı 8,5 m için fırın geometrisi

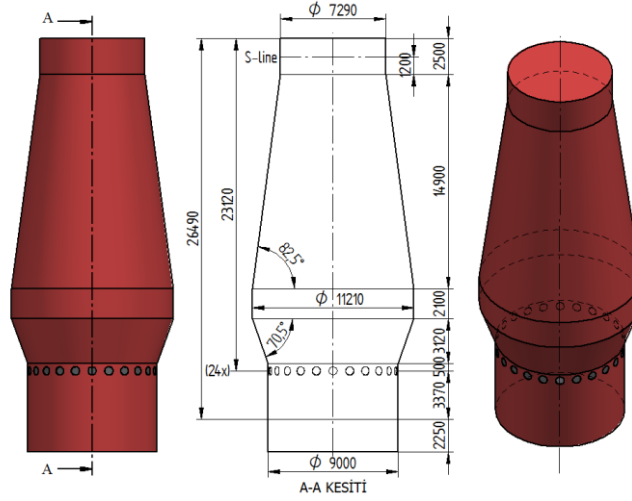
$$V_{\text{çalışma}} = 1389 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 1570 \text{ m}^3$$



Şekil B.2 Hazne çapı 8,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 9 m için fırın geometrisi

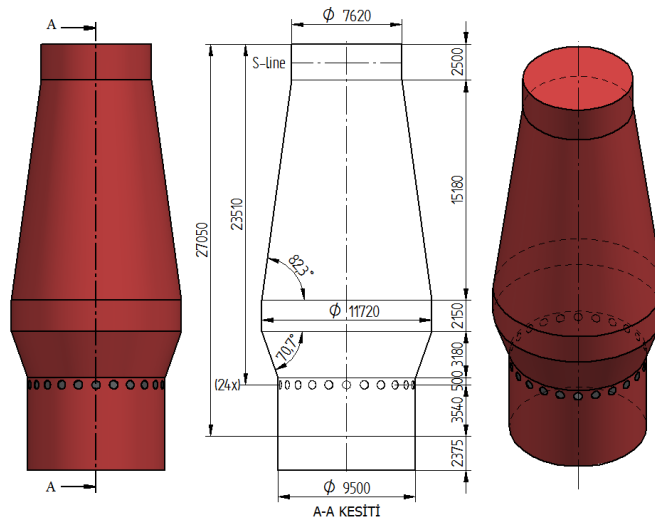
$$V_{\text{çalışma}} = 1557 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 1771 \text{ m}^3$$



Şekil B.3 Hazne çapı 9 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 9,5 m için fırın geometrisi

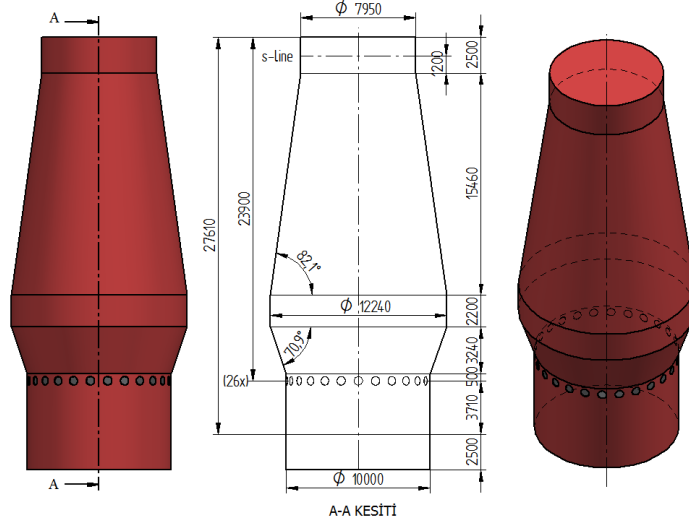
$$V_{\text{çalışma}} = 1557 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 1771 \text{ m}^3$$



Şekil B.4 Hazne çapı 9,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 10 m için fırın geometrisi

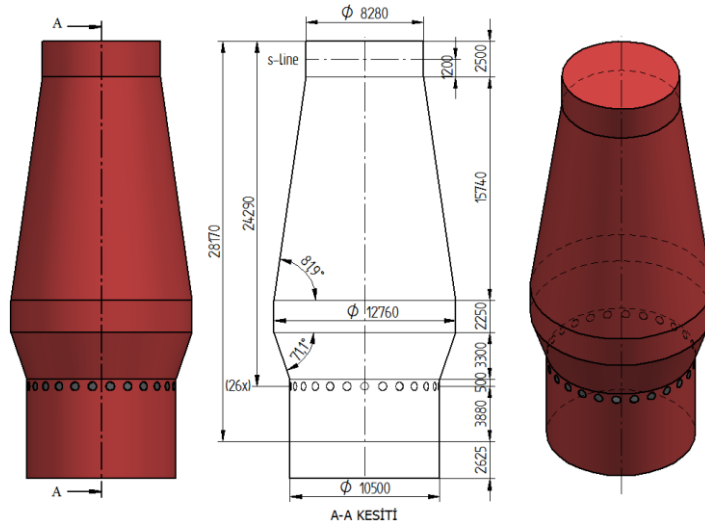
$$V_{\text{çalışma}} = 1929 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 2221 \text{ m}^3$$



Şekil B.5 Hazne çapı 10 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 10,5 m için fırın geometrisi

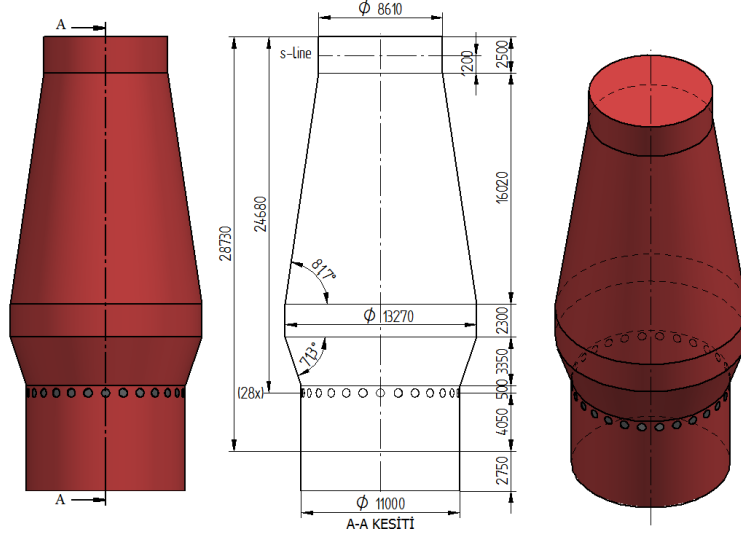
$$V_{\text{çalışma}} = 2135 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 2471 \text{ m}^3$$



Şekil B.6 Hazne çapı 10,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 11 m için fırın geometrisi

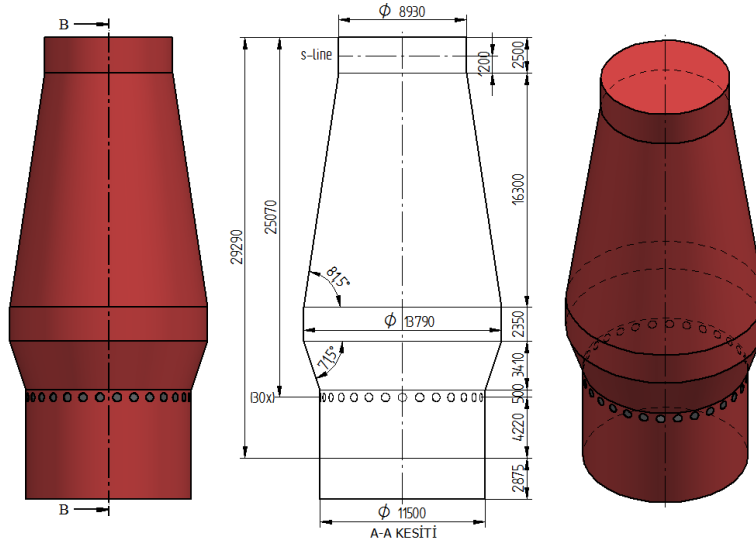
$$V_{\text{çalışma}} = 2353 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 2738 \text{ m}^3$$



Şekil B.7 Hazne çapı 11 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 11,5 m için fırın geometrisi

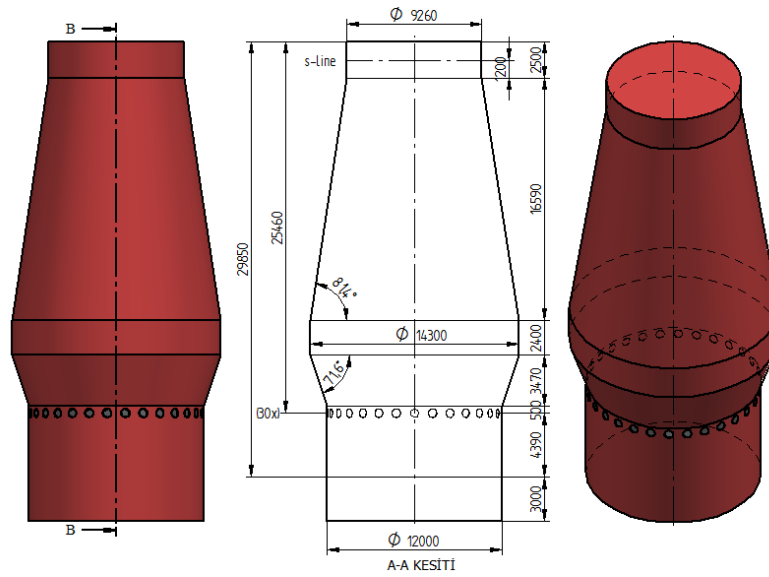
$$V_{\text{çalışma}} = 2586 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 3024 \text{ m}^3$$



Şekil B.8 Hazne çapı 11,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 12 m için fırın geometrisi

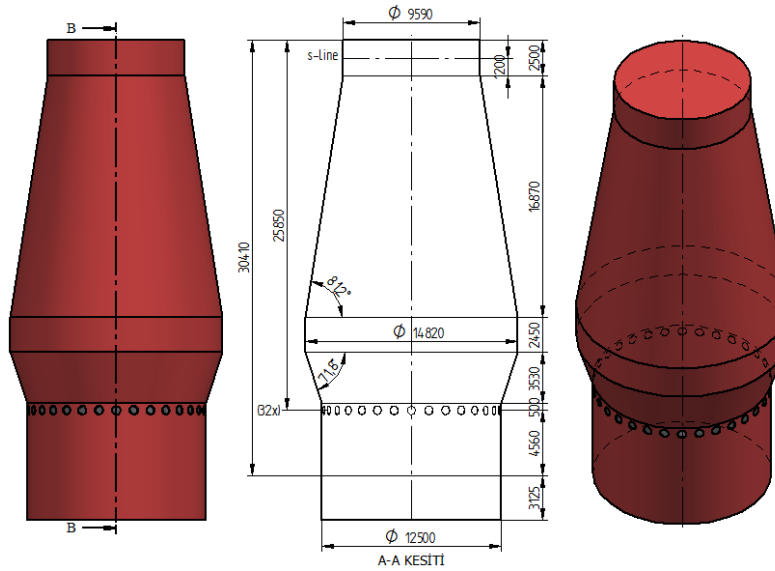
$$V_{\text{çalışma}} = 2832 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 3329 \text{ m}^3$$



Şekil B.9 Hazne çapı 12 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 12,5 m için fırın geometrisi

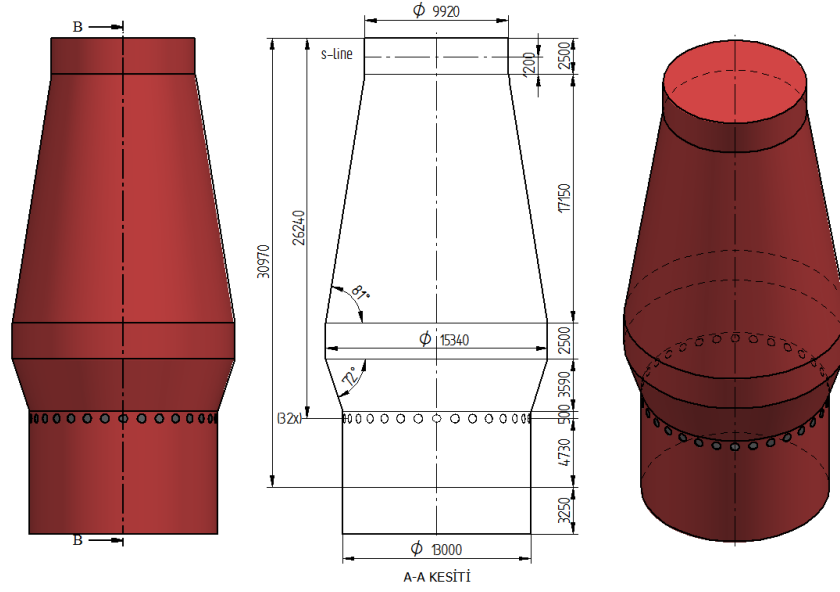
$$V_{\text{çalışma}} = 3093 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 3653 \text{ m}^3$$



Şekil B.10 Hazne çapı 12,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 13 m için fırın geometrisi

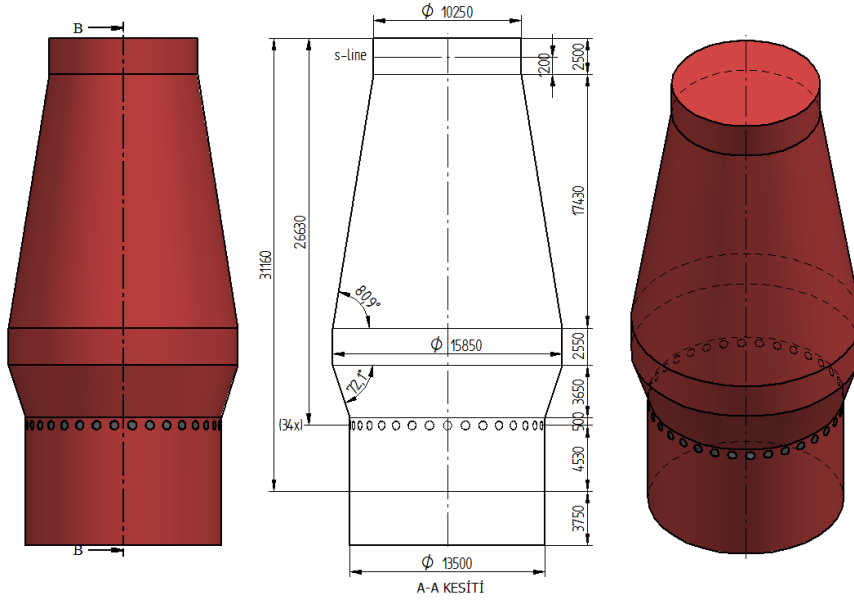
$$V_{\text{çalışma}} = 3368 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 3996 \text{ m}^3$$



Şekil B.11 Hazne çapı 13 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 13,5 m için fırın geometrisi

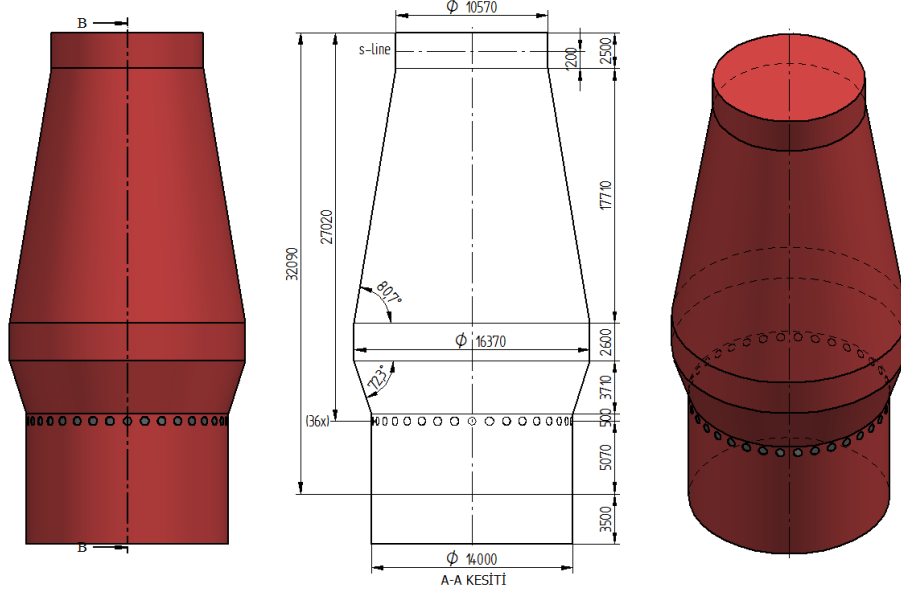
$$V_{\text{çalışma}} = 3659 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 4361 \text{ m}^3$$



Şekil B.12 Hazne çapı 13,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 14 m için fırın geometrisi

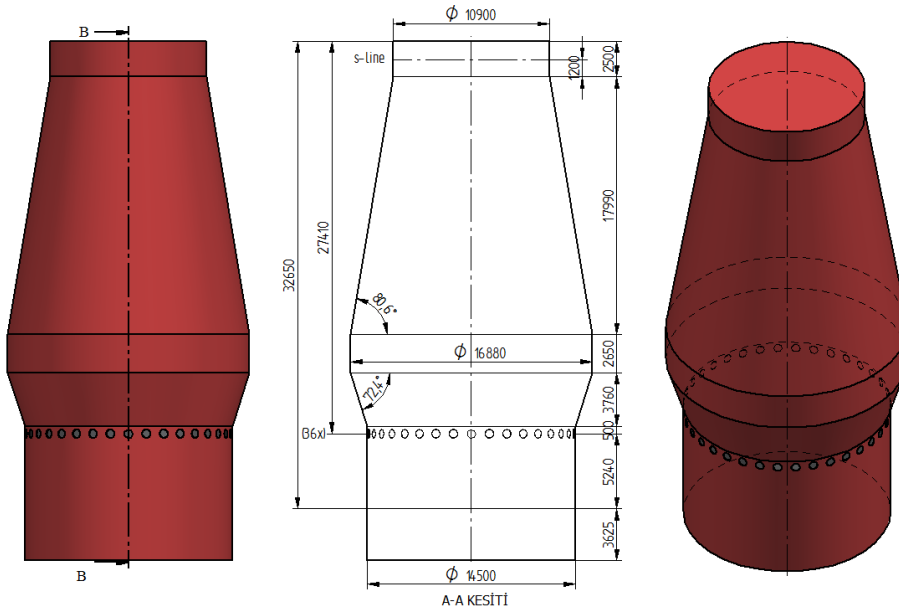
$$V_{\text{çalışma}} = 3965 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 4746 \text{ m}^3$$



Şekil B.13 Hazne çapı 14 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 14,5 m için fırın geometrisi

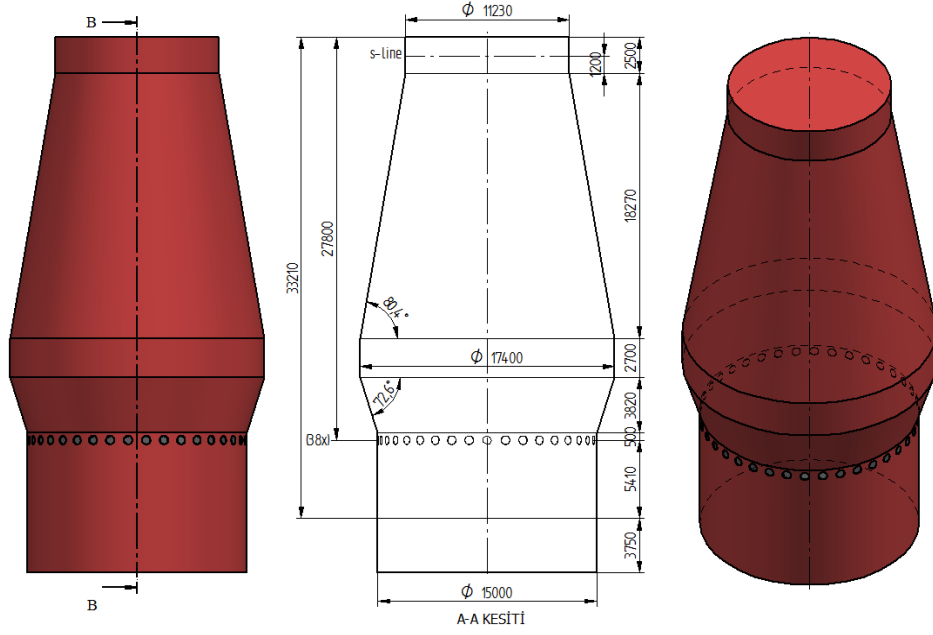
$$V_{\text{çalışma}} = 4287 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 5153 \text{ m}^3$$



Şekil B.14 Hazne çapı 14,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 15 m için fırın geometrisi

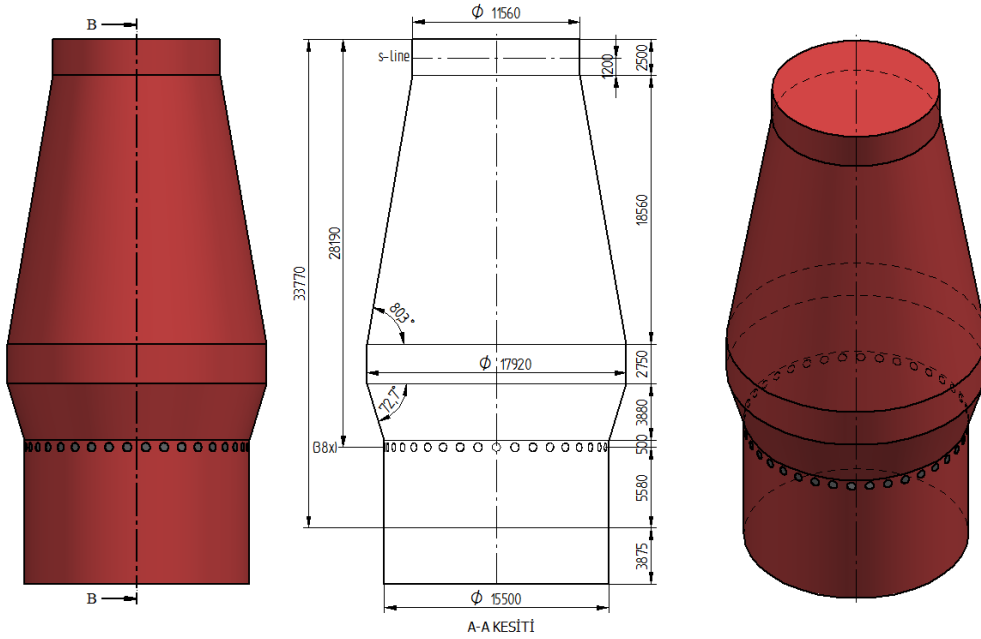
$$V_{\text{çalışma}} = 4625 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 5582 \text{ m}^3$$



Şekil B.15 Hazne çapı 15 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 15,5 m için fırın geometrisi

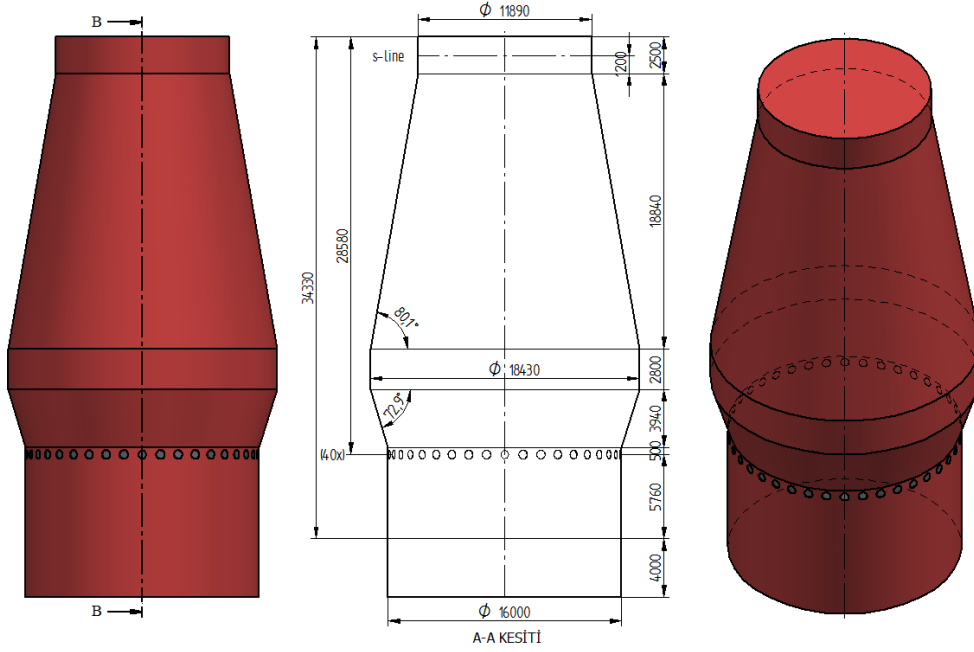
$$V_{\text{çalışma}} = 4980 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 6034 \text{ m}^3$$



Şekil B.16 Hazne çapı 15,5 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 16 m için fırın geometrisi

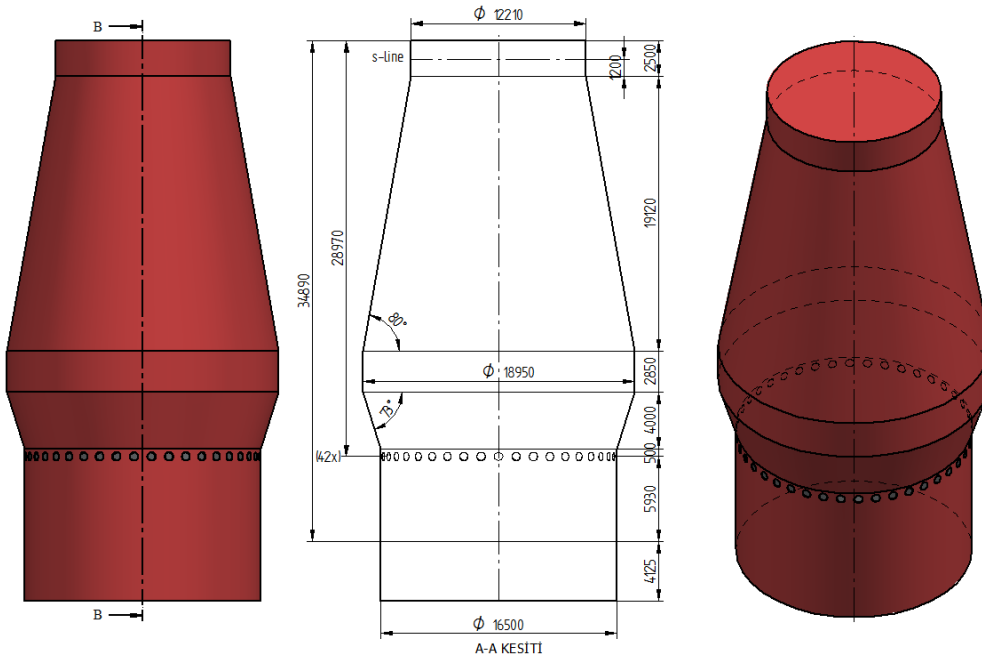
$$V_{\text{çalışma}} = 5352 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 6509 \text{ m}^3$$



Şekil B.17 Hazne çapı 16 m için fırın geometrisi.

- Hazne çapı 16,5 m için fırın geometrisi;

$$V_{\text{çalışma}} = 5741 \text{ m}^3, V_{\text{iç hacim}} = 7008 \text{ m}^3$$



Şekil B.18 Hazne çapı 16,5 m için fırın geometrisi.

ÖZGEÇMİŞ

2004 yılında İ.T.Ü. Makine Mühendisliği'nden mezun olmuştur. Yüksek Lisans eğitimini G.Y.T.E. Makine Mühendisliği bölümünde 2010 yılında tamamlamış ve aynı yıl Bülent Ecevit Üniversitesi ile Sakarya Üniversitesi'nin Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki ortak doktora programına başlamıştır.

2004 yılında ERDEMİR'e tasarım mühendisi olarak göreve başlamıştır. 2005-2015 yılların arasında Erdemir bünyesinden yer alan Erdemir Mühendislik Müdürlüğü'nde proje mühendisi olarak görev yapmıştır. 2014 yılında Demir Üretim Mühendisi olarak Erdemir Mühendislik şirketinde göreve başlamış olup halen aynı görevi devam ettirmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Sarık Korkmaz Mahallesi Okul Sok. No:3 Kdz. Ereğli/ Zonguldak

Tel: (+90) 505 404 3956

E-posta: m.esmer@yahoo.com