



**İSKENDERUN TEKNİK**  
ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**HADDEHANE TAV FIRININDA ISI  
KAYIPLARI VE ENERJİ ANALİZİ**

**Adem YILDIRIM**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2018**



# **HADDEHANE TAV FIRININDA ISI KAYIPLARI VE ENERJİ ANALİZİ**

**Adem YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

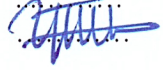
**HAZİRAN 2018**

Adem YILDIRIM tarafından hazırlanan “HADDEHANE TAV FIRININDA ISI KAYIPLARI VE ENERJİ ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

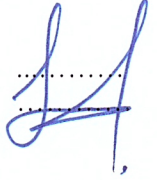
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



**Başkan:** Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

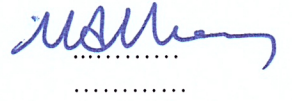
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



**Üye:** Doç. Dr. Mahmut ALKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi


Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 07/06/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Tolga DEPCI  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Adem YILDIRIM

07/06/2018

HADDEHANE TAV FIRININDA ISI KAYIPLARI VE ENERJİ ANALİZİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Adem YILDIRIM

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2018

ÖZET

Günümüzde enerji tüketimi her ne kadar gelişmişliğin bir ölçüsü olarak kabul edilmeye başlanmış ise de sınırlı enerji kaynakları ve çevresel nedenlerden ötürü ülkeler enerji tüketimlerini hızla kontrol altına almaya çalışmaktadır. Bu nedenle özellikle demir ve çelik sektörü gibi yüksek enerji tüketen sektörlerde enerji yönetimi konusuna giderek artan bir talep söz konusudur. Enerji yönetiminin temeli, tesise giren enerji ve bu enerjinin kullanım alanları ve atılan miktarlarının tespitine dayanmaktadır.

Sınırlı enerji kaynakları ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurularak bu çalışma kapsamında yüksek enerji tüketimine sahip sektörlerden birisi olan demir ve çelik sektöründe çalışan bir tesisteki tav fırınının analizi yapılmıştır. Enerji dengesi temeline dayandırılarak yapılan çalışmada, fırına giren enerjilerin yanı sıra fırının duvarlarından, egzoz gazından ve soğutma sisteminden atılan ısı miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ve hesaplamalar göz önünde bulundurularak tav fırınının enerji tüketiminin azaltılması ya da giren enerjinin daha verimli kullanılması için alternatif yöntemler önerilmiştir.

Çalışma sonucunda İskenderun bölgesinde faaliyet göstermekte olan bir haddehanenin tav fırınının, ısı kayıpları incelenmiş ve enerji analizi yapılmıştır. Termodinamiğin birinci yasası göz önünde bulundurularak tav fırınına giren ve çıkan enerji miktarları tespit edilmiştir. Bu hesaplamalar neticesinde, tav fırınına ısı kaynağı olarak giren doğalgazın enerjisinin giren toplam enerji içerisindeki payının %91,63, giren yanma havasının giren toplam enerji içerisindeki payının %6,94 ve soğuk kütüğün absorbe ettiği enerjinin giren toplam enerji içerisindeki payının %1,44 olduğu görülmüştür. Çıkan toplam enerji içerisinde; sıcak kütüğün absorbe ettiği enerji %60,69, duvar yüzeyinden kaybedilen enerji %7,76, enfiltrasyon ile kaybolan enerji %0,81, baca gazı ile atılan enerji %28,54 ve göz ardı edilen küçük ısı kayıplarının toplamının %2,2 paya sahip olduğu hesaplanmıştır. Bu değerlerin sonucunda, tav fırınının ısı verimi %60,12 olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalar göz önünde bulundurularak ayrıca sistem performansını artırıcı yöntemler araştırılarak çalışma kapsamında tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Haddehane, tav fırını, enerji dengesi, ısı verim

Sayfa Adedi : 76

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ

# HEAT LOSSES AND ENERGY ANALYSIS OF REHEATING FURNACES IN ROLLING MILL

(M. Sc. Thesis)

Adem YILDIRIM

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

Jun 2018

## ABSTRACT

Today, although energy consumption has started to be considered as a measure of development, countries are trying to quickly control energy consumption due to limited energy resources and environmental reasons. For this reason, there is an increasing demand for energy management especially in high energy consuming sectors such as the iron and steel sector. The foundation of energy management is based on the determination of the energy entering the facility and the areas of use and the amount of energy thrown.

Considering limited energy resources and environmental factors, an analysis of a furnace operating in the iron and steel sector, one of the sectors with high energy consumption, was carried out. In the study on the basis of the energy balance basis, the energy entering into the furnace as well as the walls of the furnace, the amount of heat discharged from the exhaust gas and cooling system are calculated. The resulting data and calculations to reduce energy consumption by taking into account the reheat furnace or into energy has been proposed for more efficient use of alternative methods.

As a result of the study, the heat losses of the reheat furnace in the rolling mill operating in the Iskenderun region were investigated and analyzed of energy. Taking into account the first law of thermodynamics, the amount of energy entering and exiting the reheat furnace was determined. As a result of these calculations, the energy of natural gas is 91,63%, the energy of the air is 6,94%, the energy of absorbed the cold billet is 1,44%, the energy of absorbed the hot billet was 60,69%, the wall surface losses 7,76%, the infiltration losses 0,81%, the flue gas energy loss 28,54% and the other can not be calculated losses 2,2%. As a result of these values, the reheat furnace's thermal efficiency was 60,12%. Considering these calculations, the system performance improvement methods were investigated and discussed within the scope of the study.

Key Words : Rolling mill, reheat furnace, energy balance, thermal efficiency

Page Number : 76

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Yıldız KOÇ

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun araştırılması ve yazım aşamaları esnasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarımı yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Yıldız KOÇ ve değerli eşi sayın Prof. Dr. Ali KOÇ'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunun belirlenmesi ve çalışmalarım süresince verdiği destekten dolayı değerli hocam sayın Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ ve çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olup yardımlarını esirgemeyen sayın Arş. Gör. Hüseyin YAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmama verdikleri destekten dolayı sayın Furkan GÜVEN'e ve sayın Manolya RÜZGAR'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Işıl YILDIRIM ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ... ..	1
1.1. Dünyada ve Ülkemizde Demir Çelik Sektörü.....	2
1.2. Demir Çelik Üretim Yöntemleri.....	4
1.3. Haddehaneler.....	5
1.4. Haddehane Tav Fırınları.....	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR... ..	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM... ..	10
3.1. Haddehane Tav Fırını Özellikleri .....	10
3.1.1. Tav fırını duvarları ve refrakter özellikleri.....	10
3.1.2. Tav Fırını Brülör Özellikleri.....	13
3.2. Formüller ve Hesaplamalar .....	14
3.2.1. Yanma reaksiyonları.....	14
3.2.2. Tav fırını duvar yüzey iletimi.....	15
3.2.3. Enfiltrasyon .....	16



**Sayfa**

3.2.4. Enerji analizi.....	16
3.2.5. Verimlilik .....	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	21
4.1. Tav Fırını Duvar Isı Kayıpları.....	23
4.1.1. Tav fırını Ek Bölge duvar ısı kayıpları.....	24
4.1.1.1. Tav fırını Ek Bölge batı yan duvar ısı kayıpları .....	25
4.1.1.2. Tav fırını Ek Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları .....	26
4.1.1.3. Tav fırını Ek Bölge kuzey yan duvar ısı kayıpları .....	28
4.1.1.4. Tav fırını Ek Bölge taban ısı kayıpları .....	30
4.1.1.5. Tav fırını Ek Bölge üst duvar ısı kayıpları .....	30
4.1.1.6. Tav fırını Ek Bölge toplam duvar ısı kayıpları .....	31
4.1.2. Tav fırını I.Bölge ısı kayıpları .....	32
4.1.2.1. Tav fırını I. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları .....	33
4.1.2.2. Tav fırını I. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları .....	35
4.1.2.3. Tav fırını I.Bölge taban ısı kayıpları.....	37
4.1.2.4. Tav fırını I. Bölge üst duvar ısı kayıpları .....	38
4.1.2.5. Tav fırını I. Bölge toplam duvar ısı kayıpları .....	39
4.1.3. Tav fırını II. Bölge ısı kayıpları.....	40
4.1.3.1. Tav fırını II. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları .....	41
4.1.3.2. Tav fırını II. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları .....	43
4.1.3.3. Tav fırını II. Bölge taban ısı kayıpları .....	45
4.1.3.4. Tav fırını II. Bölge üst duvar ısı kayıpları .....	45
4.1.3.5. Tav fırını II. Bölge toplam duvar ısı kayıpları.....	46
4.1.4. Tav fırını III. Bölge ısı kayıpları .....	47

**Sayfa**

4.1.4.1. Tav fırını III. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları.....	49
4.1.4.2. Tav fırını III. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları.....	51
4.1.4.3. Tav fırını III. Bölge güney yan duvar ısı kayıpları.....	54
4.1.4.4. Tav fırını III. Bölge taban ısı kayıpları.....	55
4.1.4.5. Tav fırını III. Bölge üst duvar ısı kayıpları.....	56
4.1.4.6. Tav fırını III. Bölge toplam duvar ısı kayıpları .....	57
4.1.5. Tav fırını toplam duvar ısı kayıpları.....	58
4.2. Doğalgaz ve Hava ile Tav Fırınına Verilen Enerji.....	59
4.3. Soğuk ve Sıcak Kütüğün Absorbe Ettiği Enerji.....	62
4.4. Baca Gazı Enerji Kayıpları .....	63
4.5. Enfiltrasyon Kayıpları.....	64
4.6. Tav Fırını Enerji Denkliği.....	65
4.7. Tav Fırını Verimi .....	67
5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	68
KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	75

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünyada 2016 yılı verilerine göre ilk 10 çelik üreticisi ülke ve üretim miktarları [15].....	3
Çizelge 3.1. Tav fırınında kullanılan refrakterlerin ölçüleri ve ısı iletim katsayıları .....	11
Çizelge 3.2. Tav fırınında kullanılan sıralı refrakter grupları detayı .....	13
Çizelge 3.3. Tav fırını brülör tipleri ve özellikleri.....	14
Çizelge 4.1. Tav fırını duvar ve refrakter gruplarının alanları.....	21
Çizelge 4.2. Tav fırınının kapaklarının dış yüzey sıcaklıkları .....	23
Çizelge 4.3. Tav fırınında bölgelerin iç yüzey sıcaklıkları.....	23
Çizelge 4.4. Ek Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	25
Çizelge 4.5. Ek Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	26
Çizelge 4.6. Ek Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	27
Çizelge 4.7. Ek Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	28
Çizelge 4.8. Ek Bölge kuzey yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	29
Çizelge 4.9. Ek Bölge kuzey yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	29
Çizelge 4.10. Ek Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	30
Çizelge 4.11. Ek Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun ısı kayıpları.....	30
Çizelge 4.12. Ek Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	30
Çizelge 4.13. Ek Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	31
Çizelge 4.14. Ek Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları.....	31
Çizelge 4.15. I. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	34
Çizelge 4.16. I. Bölge Batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	35
Çizelge 4.17. I. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	36
Çizelge 4.18. I. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	37
Çizelge 4.19. I. Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun özellikleri.....	38

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.20. I. Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun ısı kayıpları .....	38
Çizelge 4.21. I. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	38
Çizelge 4.22. I. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	39
Çizelge 4.23. I. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları.....	39
Çizelge 4.24. II. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikler.....	41
Çizelge 4.25. II. Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	42
Çizelge 4.26. II. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	43
Çizelge 4.27. II. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	44
Çizelge 4.28. II. Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	45
Çizelge 4.29. II. Bölge taban ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	45
Çizelge 4.30. II. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri.....	46
Çizelge 4.31. II. Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları .....	46
Çizelge 4.32. II. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları .....	47
Çizelge 4.33. 11 ve 13 no.lu açılır kapakların açık kalma süreleri.....	49
Çizelge 4.34. III. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	50
Çizelge 4.35. III. Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	51
Çizelge 4.36. III. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	52
Çizelge 4.37. III. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	53
Çizelge 4.38. III. Bölge güney yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	54
Çizelge 4.39. III. Bölge güney yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	55
Çizelge 4.40. III. Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	55
Çizelge 4.41. III. Bölge taban ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	56
Çizelge 4.42. III. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri .....	56
Çizelge 4.43. III. Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları.....	57

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.44. III. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları .....	57
Çizelge 4.45. Tav fırını duvarlarının bölgelere göre ısı kayıpları.....	58
Çizelge 4.46. Doğalgazın kimyasal yapısı ve hacimsel oranları [46].....	59
Çizelge 4.47. Kuru havanın birleşenleri ve hacimsel oranları [47] .....	60
Çizelge 4.48. Doğalgaz ve hava ile sisteme verilen enerji .....	61
Çizelge 4.49. Reküperatör sistemi için enerji denkliği .....	61
Çizelge 4.50. Enerji analizi yapılan kütüğün kimyasal yapısı .....	62
Çizelge 4.51. Soğuk ve sıcak kütüğün absorbe ettiği enerji .....	63
Çizelge 4.52. Baca gazı ölçüm sonuçları .....	63
Çizelge 4.53. Baca gazı enerji kayıpları .....	63
Çizelge 4.54. Tav fırını III. Bölge özellikleri .....	64
Çizelge 4.55. Tav fırını giren ve çıkan gaz debisi denkliği .....	65
Çizelge 4.56. Enfiltrasyon verileri .....	65
Çizelge 4.57. Tav fırını enerji denkliği.....	66
Çizelge 4.58. Tav fırını ısı verimi.....	67
Çizelge 5.1. Tav fırını enerji verimliliğini arttıracak yöntemlerin toplam enerji tasarrufu .....	69
Çizelge 5.2. Enerji verimliliğinin işletmeye yıllık kazancı.....	70
Çizelge 5.3. Enerji verimliliği arttırıcı yöntemlerin işletmeye maliyeti.....	70

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Elektrik ark ocaklı tesislerde üretim prosesi [23] .....	5
Şekil 3.1. Tav fırını izometrik görünümü .....	10
Şekil 3.2. Tav fırının kesit görünüşü ve refrakter dizilimi.....	12
Şekil 4.1. Tav fırını duvarlarının dış yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar .....	22
Şekil 4.2. Tav fırını kapaklarının konumları.....	22
Şekil 4.3. Ek Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi.....	24
Şekil 4.4. Tav fırını giriş klapesi.....	25
Şekil 4.5. Ek Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi.....	32
Şekil 4.6. I. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi.....	33
Şekil 4.7. I. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi .....	40
Şekil 4.8. II. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi .....	40
Şekil 4.9. II. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi.....	47
Şekil 4.10. III. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi .....	48
Şekil 4.11. III. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi .....	58
Şekil 4.12. Tav fırını duvarlarının bölgelere göre ısı kayıplarının yüzde gösterimi.....	59
Şekil 4.13. Tav fırını scada ekran görüntüsü .....	60
Şekil 4.14. Tav fırını enerji denkleğinin sankey diyagramı ile gösterilmesi.....	67

**RESİMLERİN LİSTESİ****Resim****Sayfa**

Resim 1.1. Tav firmı resmi [30]..... 6



## HARİTALARIN LİSTESİ

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 1.1. Dünyada 2016 yılı çelik üretiminin bölgesel dağılımı [15] .....	2
Harita 1.2. Türkiye çelik haritası [18] .....	4





## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>m</b>	Metre
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>W</b>	Watt
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>°C</b>	Santigrat
<b>°K</b>	Kelvin
<b>Q</b>	Enerji
<b>Cp</b>	Özgül ısı
<b>Kcal</b>	Kilo kalori
<b>w</b>	Özgül nem miktarı
<b>ΔT</b>	Sıcaklık farkı
<b>K</b>	Isı iletim katsayısı
<b>Reş</b>	Eş değer direnç
<b>%</b>	Yüzde
<b>ρ</b>	Yoğunluk
<b>Ho</b>	Doğalgaz alt ısııl değeri
<b>mbar</b>	Milibar
<b>h</b>	Entalpi
<b><i>m</i></b>	Kütlesel debi
<b><i>v</i></b>	Hacimsel debi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>BOF</b>	Bazik Oksijen Fırını
<b>EAO</b>	Elektrik Ark Ocağı
<b>No.lu</b>	Numaralı
<b>OHF</b>	Simens –Martin çelik Fırını

## 1. GİRİŞ

Günümüzde insanların ihtiyaçlarının karşılanması için vazgeçilemez önemli unsurlardan birisi olan enerji, ekonomik ve sosyal bakımdan ülkelerin mevcut ve gelecek planlarını etkileyen faktörlerden birisidir. Enerji ihtiyacı ve enerji tüketimini hızla artarken, enerji kaynakları da aynı hızla azalmaktadır [1]. Dünya enerji üretiminin önemli bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar yer yüzündeki tüm ülkelere eşit olarak dağılmamıştır. Bu nedenle dünyada bazı ülkeler enerji kaynaklarını elinde bulundurmakta ve üretici konumunda yer almaktadır. Fakat, ülkelerin çok büyük bir kısmı enerji tüketen konumunda yer almaktadır [2]. Enerji tüketimindeki artış trendi ve sınırlı enerji kaynakları, enerjide dışa bağımlı olan ülkemizin gelecek politikalarında, enerjinin dikkate alınan en önemli unsurlardan birisi olmasına neden olmaktadır. Mevcut durumda ülkemiz enerji tüketiminin yaklaşık %72'sini ithal etmektedir. Buda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır [3].

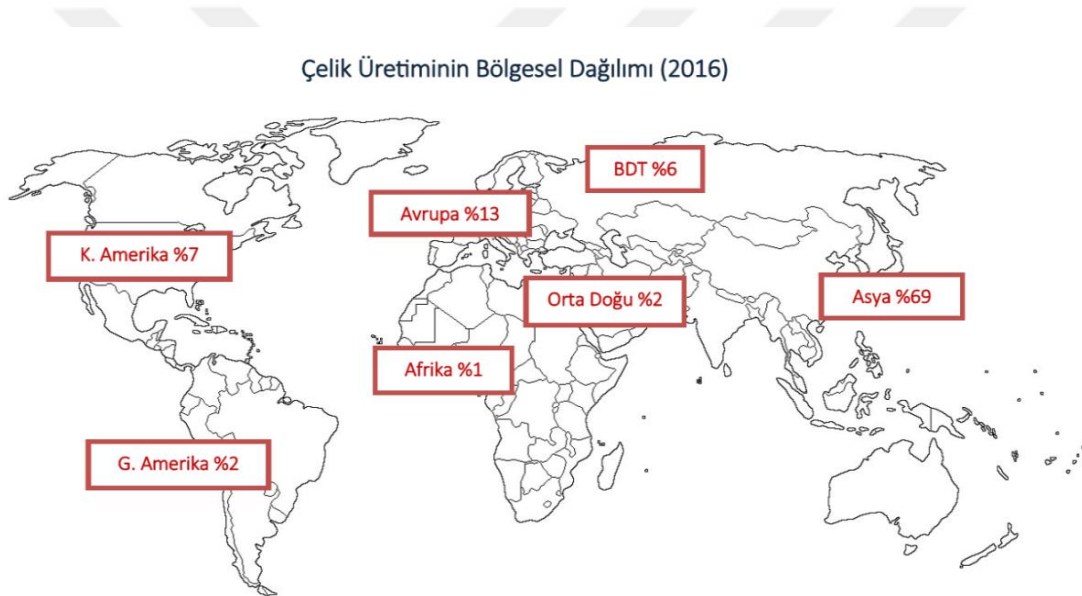
Demir çelik sektörü, üretim sürecinde enerji tüketimi yoğun sektörlerden birisidir [4, 5]. 2013 yılında dünyanın toplam sanayi enerji tüketimi içerisinde demir çelik sektörü yaklaşık %18 paya sahiptir [6]. Türkiye'nin toplam sanayi enerji tüketimi içerisinde ise yaklaşık %35 civarında paya sahiptir [7]. Dünyadaki sanayi sektörleri içerisinde, demir ve çelik sektörü en çok enerji tüketen ikinci sektördür [8]. Bu nedenle enerjinin yoğun olarak kullanıldığı demir çelik sektörü için verimlilik büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde, sanayi sektöründe %15, yerleşim yerlerinde %35 ve taşımacılık sektöründe %15 gibi yüksek enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır [9]. Dahası, sanayi tesislerinde ve endüstriyel işletmelerde bu tasarruf potansiyelinin asgari %10'unun hiç yatırımsız veya az yatırımla yapılması mümkündür [10].

Bu nedenle mevcut tez çalışması kapsamında, İskenderun bölgesinde bulunan bir demir ve çelik üretim tesisi tav fırınının mevcut enerji tüketimi, giren enerji miktarları ve çıkan enerji miktarları tespit edilmiştir. Yapılan analizler kapsamında fırının kayıp enerjileri de detaylı olarak incelenmiş ve fırının performansının iyileştirilebilmesi için yapılabilecek alternatifler detaylı olarak tartışılmıştır.

## 1.1. Dünyada ve ülkemizde demir çelik sektörü

Bir ülkenin sahip olduğu demir ve çelik üretim kapasitesi, o ülkenin ekonomik gelişmişliğinin göstergelerinden birisi olarak kabul edilmektedir [11]. Demir ve çelik üretim tesislerinde üretilen ürünler yaygın olarak inşaat ve imalat sektörlerinde kullanılmaktadır [12]. Demir çelik sektörü, son 100 yıl içerisinde teknoloji ve ürün kalitesi açısından hızlı bir ilerleyiş kaydetmiştir [13]. Dünyadaki nüfus artışıyla birlikte kentleşme ve sanayileşme artmıştır. Artan sanayileşmeye paralel olarak teknoloji hızla gelişmiş ve dolayısı ile dünyada enerji ihtiyacı ve teknolojik ürünlerin ana ham maddesi olan demir ve çelik ürünlerinin üretimi de artmıştır [14].



Harita 1.1. Dünyada 2016 yılı çelik üretiminin bölgesel dağılımı [15]

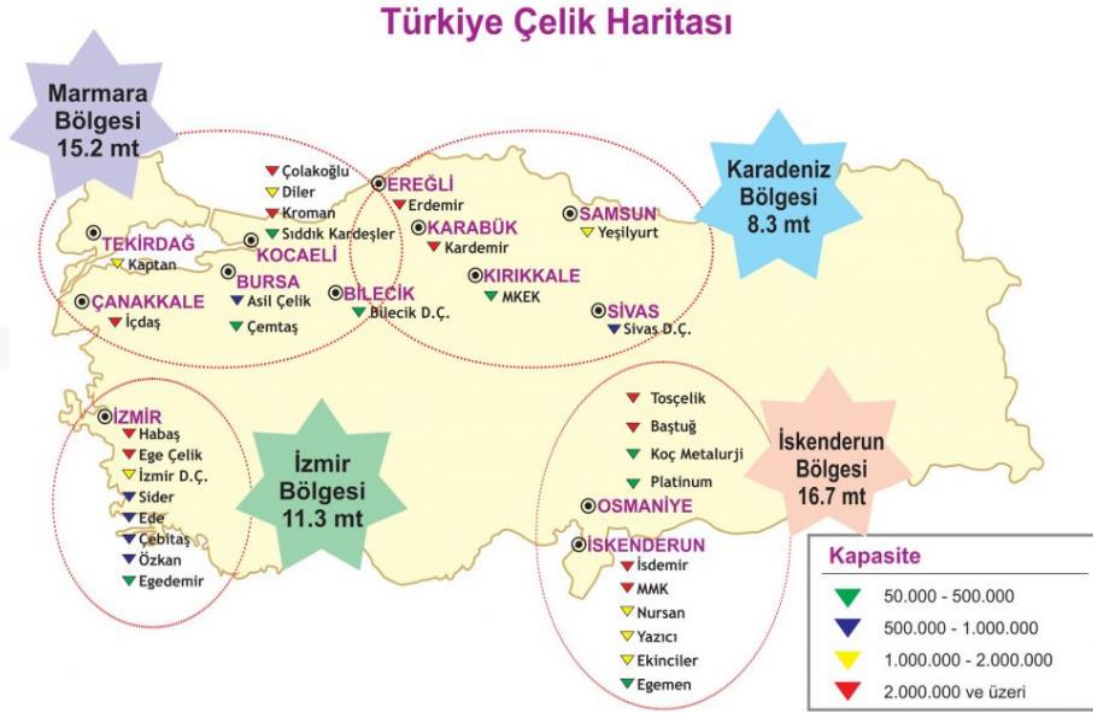
Dünyadaki çelik üretiminin %69'u Asya Bölgesinde yapılmaktadır (Harita 1.1). Asya bölgesindeki üretimin bu kadar yüksek olmasının nedeni dünyanın küresel ilk üç üreticisinin (Çin, Japonya ve Hindistan) bu bölgede olmasıdır (Çizelge 1.1). Çin, 1996 yılından bu yana dünyanın en fazla çelik üreten ülkesidir [16]. Dünyadaki ilk 10 çelik üreticisi ülke ve üretim miktarları Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Dünyada 2016 yılı verilerine göre ilk 10 çelik üreticisi ülke ve üretim miktarları [15]

Küresel Ham Çelik Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon ton)

	2013	2014	2015 (I)	2016 (II)	%Δ (II/I)	Pay (%)
Çin	779,0	822,8	803,8	808,4	0,6	50,4
Japonya	110,6	110,7	105,2	104,8	-0,4	6,5
Hindistan	81,2	87,3	89,4	95,6	6,9	6,0
ABD	86,9	88,2	78,8	78,6	-0,3	4,9
Rusya	68,7	71,5	70,9	70,8	-0,1	4,4
Güney Kore	66,1	71,5	69,7	68,6	-1,6	4,3
Almanya	42,6	42,9	42,7	42,1	-1,4	2,6
<b>Türkiye</b>	<b>34,7</b>	<b>34,0</b>	<b>31,5</b>	<b>33,2</b>	<b>5,3</b>	<b>2,1</b>
Brezilya	34,2	33,9	33,3	30,2	-9,3	1,9
Ukrayna	32,8	27,2	23,0	24,2	5,2	1,5
<b>Dünya</b>	<b>1.606,0</b>	<b>1.669,9</b>	<b>1.620,9</b>	<b>1.604,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>100,0</b>

Demir çelik sektörü, artan üretim kapasitesi, ihracat potansiyeli ve diğer sektörlere katkısı dolayısı ile ülkemizin ekonomik ve endüstriyel gelişiminde çok önemli yere sahiptir [17]. Ülkemiz, 2016 yılı verilerine göre 33,2 milyon ton üretimle dünyanın 8. büyük çelik üreticisi konumundadır (Çizelge 1.1). Ülkemizde çelik üretimi belli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu bölgelerden en yüksek üretim İskenderun Bölgesinde 16,7 milyon ton ile yapılmıştır. İskenderun Bölgesini, Marmara Bölgesi, İzmir Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi takip etmektedir (Harita 1.2).



Harita 1.2. Türkiye çelik haritası [18]

## 1.2. Demir çelik üretim yöntemleri

Çeliğin üretilmeye başlandığı zamandan itibaren çeşitli çelik üretim yöntemleri kullanılmıştır. Elektrik ark ocakları (EAO) ve bazik oksijen fırınları (BOF) ile demir ve çelik üretimi günümüzde en çok kullanılan üretim yöntemleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Dünya genelinde çelik üretimindeki temel yöntem bazik oksijen fırınında (BOF) çelik üretimidir [19]. Ülkemizde ise elektrik ark ocakları (EAO) ile üretim daha yaygındır [15].

Demir çelik sektöründe kullanılan hammaddeler ve temel enerji kaynakları, üretim yöntemine göre çeşitlilik göstermektedir. Bazik oksijen fırını (BOF) ile üretim yapan tesislerde ham çelik imalatında demir cevheri ve hurda metal kullanılmakta olup temel enerji kaynakları olarak taş kömürü, kok fırını gazı, doğalgaz ve elektrik kullanılmaktadır. Buna karşın elektrik ark ocakları ile üretim yapan tesislerde sadece hurda metalden üretim yapılmakta olup temel enerji kaynağı olarak elektrik ve doğalgaz kullanılmaktadır [20]. Bazik oksijen fırınlarında hammadde olarak kullanılan demir cevherinin, fırına girmeden önce sinter makinalarında ve yüksek fırınlarda hazırlanması gerekmektedir [21]. Fakat, elektrik ark ocaklarında kullanılan hurda metal direk olarak ocağın içerisine gönderilmektedir [22].

Çelik üretim yöntemleri çelikhanelerde üretilen nihai ürün kütük veya slab şeklindeki yarı mamüllerdir. Bu yarı mamüller haddehanelerde kullanıma hazır inşaat demiri, köşebent, profil ve benzeri son mamül şeklini almaktadır. Elektrik ark ocaklı tesislerde üretim prosesi Şekil 1.1’de verilmektedir.

### Üretim Akış Şeması



Şekil 1.1. Elektrik ark ocaklı tesislerde üretim prosesi [23]

### 1.3. Haddehaneler

İki tane döner merdanenin arasına giren malzemeye basma kuvveti ile yapılan soğuk ya da sıcak olarak plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Metal ve metal dışı malzemelerinin %95'i bu yöntem ile elde edilmektedir [24]. Bu işlemin yapıldığı tesislere ise haddehane denilmekte olup haddeleme sırasında şekil verilen çeliğin sıcaklığına göre soğuk veya sıcak haddehane olarak adlandırılmaktadırlar.

Sıcak haddehanede çelikhanelerden yarı mamül olarak çıkan çelik, tav fırınlarında kristalleşme sıcaklığının üzerinde olacak şekilde tekrar ısıtılıp sıcak halde haddelenerek inceltilmektedir [25]. Sıcak haddehanede giriş ve çıkış mamülleri çeşitlilik göstermektedir. Sıcak haddehanede çelik; kütük, slab veya bloom halinde getirilebilirken köşebent, profil, ray, sac ve inşaat demiri halinde son mamül olarak çıkarılabilmektedir.

Soğuk haddehanede ise sıcak haddehanede belli kalınlığa kadar üretilen yassı çelikler, soğuk olarak haddelenmekte ve hassas toleranslarda çok ince saclar haline getirilmektedir [26].

#### 1.4. Haddehane tav fırınları

Sıcak haddeleme öncesinde yarı mamül çelikler genellikle 1100 °C - 1300 °C arasında ısıtılarak homojen mikro yapının oluşması sağlanır. Isıtılma işlemi, ısıl gerilmelere bağlı olarak yapısal kusurları önlemek için kademeli ve belirli oranda gerçekleştirilir [27]. Bu ısıtma işlemi haddehane tav fırınlarında yapılmaktadır. Tav fırının içinin ısıtılması, fırın duvar yüzeylerinde bulunan brülörler vasıtası ile yapılmaktadır. Brülörlerde ısı kaynağı olarak birçok tip yakıt kullanılabilir. [28].

Yakıtların yanması ile ortaya çıkan enerji kütüklere geçiş yapar. Kütüklere enerji geçişi esnasında, tüm ısı transfer yöntemleri ile ısı geçişi olmaktadır. Fakat, ısının neredeyse %90'ı radyasyonla transfer edilmektedir [28]. Radyasyonla ısı transferi ön ısıtma ve tavlama yapılmayan bölgelerde, tavlama bölgelerine göre ısıl olarak daha çok kütüğe etki yapmaktadır [29].



Resim 1.1. Tav fırını resmi [30]

Tav fırınları, kütüğün şarj (yükleme) şekline göre sınıflandırılmaktadır. Demir çelik haddehanelerinde genellikle 3 tip şarj şekli kullanılmaktadır. Dolayısı ile tav fırınları şarj şekline göre 3'e ayrılmaktadır. Bunlar; itmeli tip tav fırınları, yürüyen tabanlı tav fırınları ve yürüyen kirişli tav fırınlarıdır. Enerji analizi yapılan tav fırını, itmeli tip bir tav fırınıdır.

İtmeli tip tav fırınlarında yarı mamul kütükler, takip eden diğer malzeme yardımıyla fırına itilerek şarj edilmektedir [31].

Tav fırınları kütüğün hareketlerine, boyuna ve istenilen üretim kapasitelerine göre farklı boyutlarda ve ölçülerde tasarlanabilmektedirler. Bu tasarım parametreleri dikkate alınarak, kullanılacak brülörlerin kapasiteleri ve fırın imalatında kullanılacak refrakter malzemeler belirlenmektedir.

Sıcak haddeleme yapılan tesislerde yarı mamülün ısıtıldığı tav fırınları enerji maliyetinde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu yüzden tav fırınlarının enerji tüketimi bakımından daha verimli hale getirilmesi için sürekli olarak enerji geri kazanım yada enerji tüketim optimizasyonu çalışmaları yapılmaktadır. Örneğin baca gazı ile atmosfere atılan atık ısının geri kazanımı için organik Rankine çevrimleri tav fırınlarına sıklıkla entegre edilmektedir. Bu yöntemin çeşitli sektörlere uygulanması ile Avrupada yılda yaklaşık 20.000 GWh'e kadar termal enerjinin geri kazanılabildiği hesaplanmıştır [32].

Bu tez çalışması kapsamında İskenderun bölgesinde bir demir ve çelik üretim tesisinde bulunan tav fırınına giren ve çıkan kütleler incelenmiştir. Giren ve çıkan kütlelerin denkleştirilmesinden sonra sisteme giren ve sistemden çıkan enerjiler termodinamiğin birinci kanunu göz önünde bulundurularak denkleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kütüklerin tav fırınında ısıtılması neticesinde duvarlardan kaybolan enerjiler bölgesel olarak detaylı olarak hesaplanmış olup soğutma suyu ve baca gazı gibi atık ısı atılan diğer yöntemlerde detaylı olarak irdelenmiştir. Çalışma sonunda sisteme giren ve sistemden atılan enerjilerin detaylı olarak belirlenmesi neticesinde, tav fırınının enerji tüketimi bakımından daha verimli hale getirilebilmesi için kullanılabilecek enerji tasarruf yöntemleri ve atık ısı geri kazanım yöntemleri tartışılmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Chen, Chung ve Liu (2005), yaptıkları çalışmada bir sıcak haddehanenin tav fırınının performansını ve enerji tüketimini incelemişlerdir. Üretim hızı artışının, tav fırınının verimliliğini arttırdığı belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda tav fırınında kullanılan enerjinin %80'inin yakıtın yanmasından ve %15,7'sinin sıcak baca gazından sağlandığı görülmüştür. Ölçümler sonucunda ısı geri kazanım bölgesindeki ısı değişiminin %86,66 ve ısı geri kazanım verimliliğinin %47,76 olduğunu bulunmuştur [33].

Ertem, Çelik ve Yeşilyurt (2008), yaptıkları çalışmada bir endüstriyel tav fırınında enerji analizini incelemişlerdir. Giren enerji ile ürüne aktarılan enerji arasındaki fark, fırında meydana gelen kayıpların türleri ve miktarlarının belirlendiği çalışmada; tav fırının ısı verimi %38,3, baca gazı kaybı %31,6, yüzey kayıpları %13, açıklık kayıpları %10,4 ve diğer kayıplar %6,7 olarak hesaplanmıştır. Enerji analizi sonucunda verimlilik çalışmaları yapılmış ve verimlilik ile ilgili görüş ve öneriler sunulmuştur [34].

Manatura ve Tangtrakul (2010), yaptıkları çalışmada reküperatör ve birleştirilmiş rejeneratif brülörlerin kullanıldığı tav fırınının enerji analizini yapmışlardır. Reküperatör ile yanma havasının 300 °C'ye kadar ısıtılacağı ama rejeneratif brülörlerin 1000 °C'ye kadar yakma havasını ısıtılacağından yola çıkarak; reküperatif ve rejeneratif brülörleri birleştirmiş ve bu kombinasyonun verimlilik hesabını yapmışlardır. Yapılan hesaplamada reküperatör kullanılan tav fırınları ile karşılaştırıldığında, %43,4 enerji tasarrufunun yapılabileceği görülmüştür [35].

Ertem, Şen, Akar, Pamukçu ve Gürgeç (2010), yaptıkları çalışmada Erdemir fabrikasında bulunan 3 nolu slab fırınında, enerji dengesi ve enerji tasarruf yöntemlerini incelemişlerdir. Kayıp enerjiyi bulabilmek için tav fırını giren ve çıkan enerjiler hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre 3 nolu tav fırının enerji verimliliği %64,26 olarak bulunmuştur. Enerji verimliliğini arttırmak için şarj sıcaklığının artırılması ve baca gazı enerjisinin reküperatör ile geri kazanılması konusunda öneriler sunmuşlardır [36].

Si ve diğerleri (2011), yaptıkları çalışmada bir çelik fabrikasının enerji verimliliği potansiyelini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda tav fırını enerji verimi %60 olarak bulunmuştur. Ayrıca tav fırınındaki en büyük enerji kaybının %29,5 ile baca gazı kayıpları

olduğu tespit edilmiştir. Dahası, baca gazının atık ısısının geri kazanılabileceği belirlenmişlerdir. Çalışma sonucunda giren kütüklerin 315 °C'ye kadar ön ısıtılması durumunda birim enerji tüketiminin düşeceği belirlenmiştir [37].

Kılınç (2012), Kardemir A.ř.'nin haddehane I ve haddehane II tav fırınlarında enerji dengesi ve enerji verimliliği hesaplamalarını yapmışlardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda haddehane I tav fırını verimi %61,83, haddehane II tav fırını verimi ise %60,86 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre yapılabilecek enerji tasarrufları hesaplanmış ve yapılabilecek enerji tasarrufları ile haddehane I tav fırını veriminin %76,80'e kadar, haddehane II tav fırını veriminin ise %77,20'ye kadar çıkarılabileceği belirlenmiştir [38].

Eyidoğan, Kaya, Dursun ve Taylan (2014), yaptıkları çalışmada LNG yakıtlı bir haddehane tav fırınında enerji verimliliğini incelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar için tav fırından gerekli tüm verileri alınarak fırının enerji dengesi kurulmuştur. Çalışma sonucunda tav fırınının genel verimi %52,76 olarak bulunmuştur. Ayrıca, fırının enerji verimliliğini arttırmak için fazla havanın azaltılması ve yeni yüksek kapasiteli reküperatör kullanılması ile ilgili tasarruf hesaplamaları yapılmış ve öneriler verilmiştir [39].

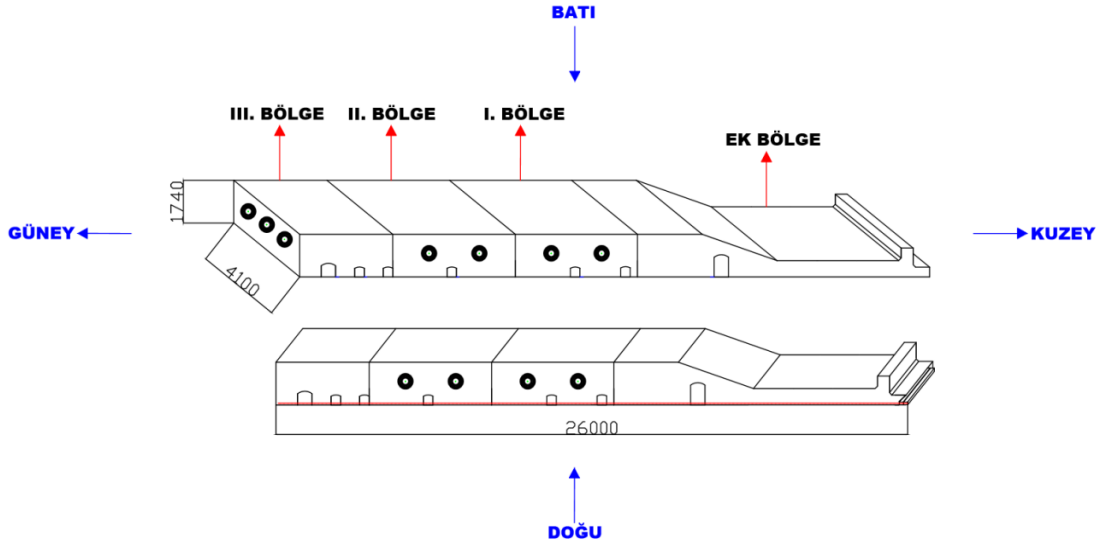
Vatandaş (2016), yaptığı çalışmada bir emaye pişirme fırınının enerji ve ekserji analizini yapmış ve fırının geri kazanılabilir enerji potansiyelini değerlendirmiştir. Hesaplamalar sonucunda, fırının enerji ve ekserji verimi sırasıyla %13 ve %9 olarak bulunmuştur. Verimlilik alışmaları sonrasında fırında tekrar yapılan enerji ve ekserji analizleri neticesinde, fırınının enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %28 ve %20,3'e kadar çıkarılabileceğini tespit edimiştir [40].

Feng, Chen, Xie ve Sun (2014), yaptıkları çalışmada tav fırını duvarlarında standart kalınlıktaki yalıtım malzemesi yerine tav fırını içerisindeki ısı dağılım oranını göz önüne alarak ısı kaybını azaltmak için aynı yalıtım malzemesinin en uygun ölçülerini bulmaya çalışmışlardır. Yapılan hesaplamalar neticesinde, sabit kalınlıktaki yalıtım malzemelerinin kullanımına kıyasla sabit kalınlıkta olmayan yalıtım malzemelerinin kullanımı ile ısı kaybında %8,85 azalma olduğunu tespit etmişlerdir [41].

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Haddehane tav fırını özellikleri

Giren ve çıkan enerjilerin tespit edilerek detaylı olarak hesaplanacağı tav fırını, İskenderun bölgesinde bir köşebent profil haddehanesinde bulunmaktadır. Bu haddehanede 160 mm'ye kadar çeşitli ebatlarda köşebent ve profil üretimi yapılmaktadır. Tav fırını, şarj tipinden dolayı itmeli tipte bir fırındır. Sistem saatte 30 ton kapasiteye göre dizayn edilmiş olup, kendi içerisinde dört ayrı yanma bölgesinden oluşmaktadır. Bu bölgeler sırasıyla Ek Bölge, I. Bölge, II. Bölge ve III. Bölge olarak adlandırılmaktadır. Ek Bölge, soğuk kütüğün fırına giriş yaptığı ve baca giriş borularının bulunduğu bölgedir. Sıcak kütüğün fırından çıktığı bölge ise III. Bölge olarak adlandırılmaktadır. Tav fırını 26 m uzunluğunda ve 4,1 m genişliğinde olup 4 m uzunluğa kadar çeşitli ebatlardaki kütüğü ısıtabilmektedir. Kütükler, çelikhaneden 11,8 m'den 12,1 m'ye kadar değişen uzunluklarda gelip son mamul ölçülerine göre tav fırınına girmeden önce kesilmekte ve boyutları istenen şekilde ayarlanmaktadır. Şekil 3.1'de enerji analizi yapılan tav fırınının izometrik çizimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Tav fırını izometrik görünümü

#### 3.1.1. Tav fırını duvarları ve refrakter özellikleri

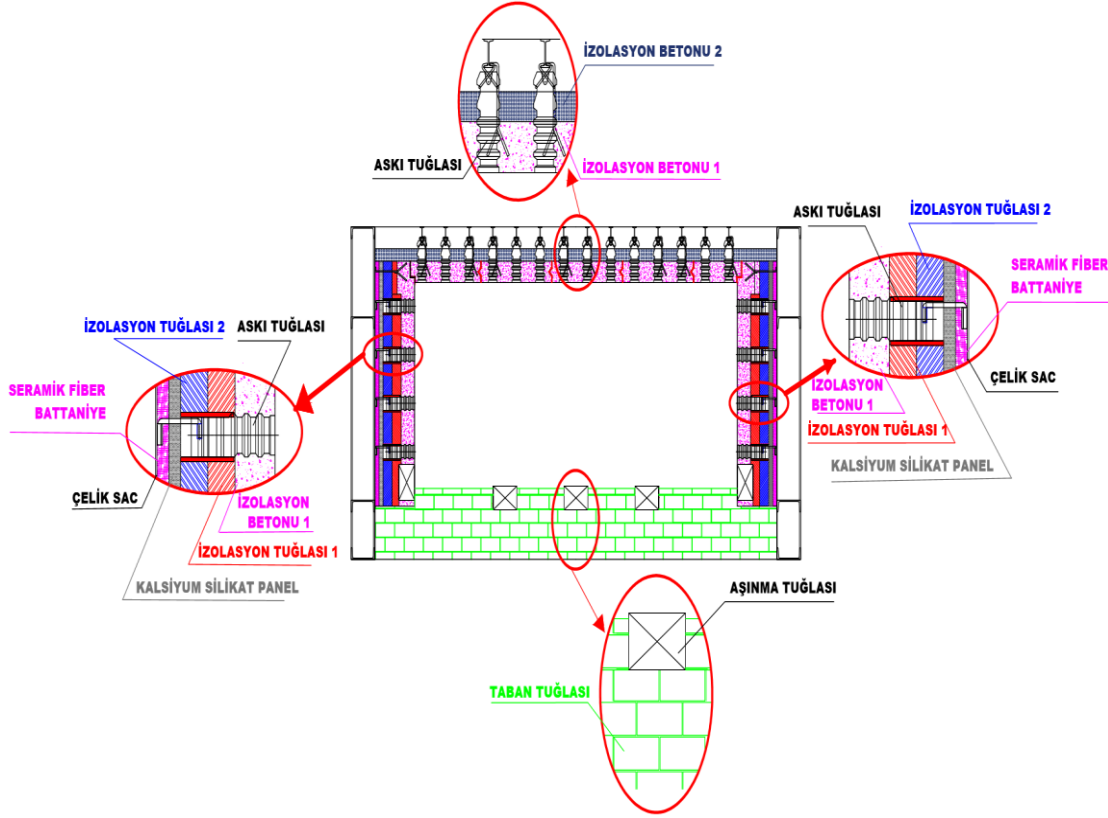
Tav fırını batı yan duvar, doğu yan duvar, kuzey yan duvar, güney yan duvar, taban ve üst duvardan oluşmaktadır. Bu duvarların tav fırınına göre yönleri Şekil 3.1.'de verilmiştir. Bu

duvarlar özel olarak yalıtım için imal edilen refrakterlerin, arka arkaya veya yan yana dizilmesi ile oluşmaktadır. Tav fırını duvarlarında kullanılan refrakterlerin ölçüleri ve farklı sıcaklıklardaki ısı iletim katsayıları Çizelge 3.1’de verilmektedir. Aynı refrakterin farklı ölçülerde kullandığı tav fırını duvarları için kullanılmış olan tüm refrakterler çizelgede detaylı olarak verilmektedir. Kullanılan bölge sıcaklıklarına göre bu tablodan uygun ölçü ve ısı iletim katsayıları alınmıştır. Alınan bu ölçü ve ısı iletim katsayıları duvar ısı kaybı hesabında kullanılmıştır. Bu veriler refrakter imalatçısı firma tarafından verilen teknik şartnamelerden elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Tav fırınında kullanılan refrakterlerin ölçüleri ve ısı iletim katsayıları

MALZEME YAPISI ÜST DUVAR										
MALZEME ADI	ÖLÇÜ (m)			ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)						
	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık	200 °C	400 °C	550 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1050 °C
İZOLASYON BETONU I	-	-	0,180	-	1,20	-	-	1,20	1,20	-
İZOLASYON BETONU II	-	-	0,105	-	-	-	-	0,40	0,43	-
ASKI TUĞLASI L:350	0,120	0,120	0,350	-	-	1,70	-	1,70	-	1,50
MALZEME YAPISI YAN DUVAR										
MALZEME ADI	ÖLÇÜ (m)			ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)						
	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık	200 °C	400 °C	550 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1050 °C
İZOLASYON BETONU I	-	-	0,170	-	1,20	-	-	1,20	1,20	-
İZOLASYON TUĞLASI I	0,230	0,065	0,115	-	0,17	-	0,19	0,22	0,25	-
İZOLASYON TUĞLASI II	0,230	0,065	0,115	-	0,12	-	0,14	-	-	-
KALSİYUM SİLİKAT PANEL	1,000	0,500	0,050	0,08	0,10	-	0,15	0,18	-	-
SERAMİK FİBER BATTANIYE	7,200	0,610	0,050	0.0450-0.0600	0.0850-0.1100	-	0.1520-0.2000	-	-	-
ASKI TUĞLASI L:350	0,120	0,120	0,350	-	-	1,70	-	1,70	-	1,50
AŞINMA TUĞLASI T:200	0,550	0,200	0,200	-	-	-	4,33	4,6	5,16	-
İZOLASYON BETONU I	-	-	0,400	-	1,20	-	-	1,20	1,20	-
ÇELİK SAC	-	-	0,015	-	17	-	-	-	-	-
HAVA	-	-	0,050	-	0,0492	-	-	-	-	-
MALZEME YAPISI TABAN										
MALZEME ADI	ÖLÇÜ (m)			ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)						
	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık	200 °C	400 °C	550 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1050 °C
AŞINMA TUĞLASI T:200	0,550	0,300	0,200	-	-	-	4,33	4,6	5,16	-
TABAN TUĞLASI 80 AL	0,220	0,150	0,420	-	-	2,20	-	2,10	-	2,00
TABAN TUĞLASI 80 AL	0,220	0,150	0,600	-	-	2,20	-	2,10	-	2,00

Analizi yapılan tav fırını duvarlarında refrakterler ısı iletim katsayıları ve ölçülerine göre farklı bölgelerde farklı şekillerde kullanılmıştır. Şekil 3.2’de ısı tranferi incelenen tav fırının, kesit görünüşü ve kesit üzerinde refrakterleri dizilişleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Tav fırının kesit görünüşü ve refrakter dizilimi

Şekil 3.2’de verilen kesit görünüşte askı tuğlaları görülmektedir. Bu tuğlalar, diğer izolasyon beton ve tuğlalarını bir arada tutmak için kullanılmaktadır. İzolasyon betonları ayrı parçalar halinde dökülmektedir.

Tav fırını duvarları üzerindeki refrakterlerin, iç yüzeyden dış yüzeye doğru oluşturduğu, farklı sıralı refrakter grupları, ısı hesabı için tek tek incelenmiştir. Her bir sıralı refrakter grubuna göre duvardaki ısı kaybı değişmektedir. Tav fırını refrakterin sıralandığı farklı sıralı gruplar, hesaplamalarda karışıklığa neden olmamak için Çizelge 3.2’de harfler ile isimlendirilmiştir.

Çizelge 3.2. Tav fırınında kullanılan sıralı refrakter grupları detayı

<b>Tav Fırınında Kullanılan Sıralı Refrakter Grupları</b>	
<b>Grup Adı</b>	<b>Refrakter Adı</b>
<b>A</b>	İzolasyon Betonu I
	İzolasyon Tuğlası I
	İzolasyon Tuğlası II
	Kalsiyum Silikat Panel
	Seramik Fiber Battaniye
	Çelik Sac
<b>B</b>	Seramik Fiber Battaniye
	Hava
	Kalsiyum Silikat Panel
	Seramik Fiber Battaniye
<b>C</b>	Çelik Sac
	İzolasyon Beton I
<b>D</b>	Askı Tuğlası L:350
	Seramik Fiber Battaniye
	Çelik Sac
<b>E</b>	İzolasyon Betonu I
	İzolasyon Betonu II
<b>F</b>	Askı Tuğlası L:350
<b>G</b>	Taban Tuğlası 80 A1
<b>H</b>	Aşınma Tuğlası T:200
	Taban Tuğlası 80 A1
<b>I</b>	Aşınma Tuğlası T:200
	İzolasyon Tuğlası I
	İzolasyon Tuğlası II
	Kalsiyum Silikat Panel
	Seramik Fiber Battaniye
<b>Kapak</b>	Çelik Sac
	İzolasyon Betonu I

### 3.1.2. Tav fırını brülör özellikleri

Tav fırını içerisinde yanma reaksiyonu gerçekleştirebilmesi için; I. Bölgede toplam 1298 kW kapasiteli 4 adet, II. Bölgede toplam 1550 kW kapasiteli 4 adet ve III. Bölgede toplam 623 kW kapasiteli 3 adet olmak üzere toplamda 11 adet brülör bulunmaktadır. Tav

fırınında kullanılan brülörlerin tipleri ve teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tav fırını brülör tipleri ve özellikleri

<b>Brülör Tipleri</b>			
Tipi	A200-6	A200-8	A200-10
Konum	III. Bölge	I. Bölge	II. Bölge
Adet	3	4	4
Kapasite (kW)	623	1 298	1 557
Hava (m <sup>3</sup> /h)	447	1 241	1 650
Doğalgaz (m <sup>3</sup> /h)	45	120	150
T <sub>hg</sub> (°C)	279	286	288
T <sub>dg</sub> (°C)	20	20	20
Basınç (mbar)	94	98	94

Tav fırını içerisinde bulunan brülör alanlarının çok küçük olması ve enerji giriş bölgesi olmasından dolayı bu alanlardaki ısı kaybı göz ardı edilmiştir.

## 3.2. Formüller ve hesaplamalar

### 3.2.1. Yanma reaksiyonları

Yanma, bir yakıtın oksijenle birleşmesi sonucunda enerjinin açığa çıktığı kimyasal bir reaksiyondur. Yanma için gerekli oksijen saf olarak veya havadan sağlanabilir. Haddehane tav fırınlarında genellikle oksijen havadan sağlanır. Hava ile birlikte yanma işleminde azotta bulunur. Azot inert gaz olmasından dolayı çok yüksek sıcaklıklarda azot oksit hariç kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Saf oksijen kullanımı maliyetli olmasından dolayı daha çok özel uygulamalarda kullanılmaktadır [42]. Yanma işlemi, kimyasal reaksiyona giren ve reaksiyon sonucu çıkan ürünlerden oluşur. 1 kmol karbonun 1 kmol oksijenle yanması sonunda karbondioksit oluşur [42].



Bu kimyasal reaksiyonda verilen  $C$  ve  $O_2$  reaksiyona giren,  $CO_2$  ise reaksiyon sonucu oluşan üründür. Eğer oksijen havadan sağlanıyorsa reaksiyonun her iki tarafında  $N_2$  de bulunmaktadır [42].

### 3.2.2. Tav fırını duvar yüzey iletimi

Tav fırını duvarlarından kaybolan ısı transferinin hesaplanması için, duvarlardan iletim yoluyla transfer edilen ısı miktarının taşınım ile atmosfere verilen ısı miktarına eşit olduğu kabulüne dayanarak, ısı transferinin hesaplanmasında lineer ısı iletim denklemlerinden yararlanılmıştır. Fourier ısı iletim kanunu ile lineer ısı iletimi [42];

$$Q = -kA \frac{dT}{dL} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada  $k$ ,  $A$  ve  $L$  ifadeleri sırasıyla lineer ısı iletim katsayısı, ısı transfer yüzey alanı ve duvar kalınlığını ifade etmektedir. Isı transfer hesaplamalarında kullanılan eş değer ısı direncinin genel eşitliği [43];

$$R_{eş} = \frac{L}{kA} \quad (3.3)$$

olarak yazılmaktadır. Fourier ısı iletim kanunu bu eşitliğe göre yeniden düzenlendiğinde [43];

$$Q = \frac{kA}{L} (T_i - T_d) \leftrightarrow Q = \frac{1}{\frac{L}{kA}} (T_i - T_d) \leftrightarrow Q = \frac{1}{R_{eş}} (T_i - T_d) \leftrightarrow Q = \frac{(T_i - T_d)}{R_{eş}} \quad (3.4)$$

eşitliği elde edilmektedir. Burada  $T_i$  iç yüzey sıcaklığını,  $T_d$  dış yüzey sıcaklığını ve  $R_{eş}$  eşdeğer direnci ifade etmekte olup sistemin bütünü için [44];

$$R_{eş} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots \quad (3.5)$$

eşitliği kullanılarak eş değer direnç hesaplanmaktadır. Açılır kapakların, açık kalma ve kapalı kalma süreleri boyunca toplamda kaybettiği ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{ak} = \frac{(\dot{Q}_{kyk} * t_k)}{(t_a + t_k)} \quad (3.6)$$



eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{ak}$ ,  $\dot{Q}_{kyk}$ ,  $t_a$ ,  $t_k$  ifadeleri sırasıyla açılır kapaklardaki ısı kaybı, kapağın tamamen kapalı iken kapak yüzey kaybı, açık kalma süresi ve kapalı kalma süresini ifade etmektedir.

### 3.2.3. Enfiltrasyon

Tav fırını üzerinde bulunan ve belirli zaman aralıklarında açılan kapaklardan ortama verilen hava ve sızıntı havalar ile kaybolan ısı miktarı infiltrasyonu ifade etmektedir. Enfiltrasyon ile gerçekleşen ısı kaybı [44];

$$\dot{Q}_{enf} = \dot{m}(h_{iç} - h_{dış}) \quad (3.7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada  $\dot{m}$  ve  $h$  ifadeleri sırası ile havanın kütleli debisini ve entalpisini ifade etmektedir. Dış ve iç alt indisleri ise sırası ile tav fırının dış ortamını ve tav fırının iç ortamını ifade etmektedir.

### 3.2.4. Enerji analizi

Mühendislik uygulamalarında kullanılan türbin, kompresör ve lüle gibi birçok makinenin, çalıştıkları sürelerde, giriş, çıkış ve diğer çalışma koşulları değişmez. Bu makinelerle ilgili termodinamik hesaplamalar sürekli akışlı açık sistem adı verilen gerçeğe yakın bir modelle yapılmaktadır [42]. Sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilen makinelerde kontrol hacmindeki toplam enerji sabittir ( $\dot{E}_{KH} = \text{sabit}$ ). Bu kontrol hacminin toplam enerjisinde değişim olmadığı anlamına gelir ( $\Delta\dot{E}_{KH} = 0$ ). Böylece sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmine ısı, iş veya kütle olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunludur [42]. Sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu [43];

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \quad (3.8)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Bu eşitlik üzerinden tav fırının enerjisinin korunumu denklemi;

$$\dot{Q}_{kg} + \dot{Q}_{dg} + \dot{Q}_{yh} = \dot{Q}_{kç} + \dot{Q}_{bg} + \dot{Q}_{dyk} + \dot{Q}_{enf} + \dot{Q}_{dk} \quad (3.9)$$

olarak verilmektedir. Bu denklemde  $\dot{Q}_{kg}$  giren kütüğün absorbe ettiği enerjiyi,  $\dot{Q}_{dg}$  doğalgazın yanma enerjisini,  $\dot{Q}_{yh}$  yakma havasının enerjisini,  $\dot{Q}_{kç}$  çıkan kütüğün absorbe ettiği enerjiyi,  $\dot{Q}_{bg}$  baca gazı enerjisini,  $\dot{Q}_{dyk}$  duvarlardaki yüzey enerji kaybını,  $\dot{Q}_{enf}$  enfiltrasyon enerji kaybını ve  $\dot{Q}_{dk}$  hesap edilemeyen diğer enerji kayıplarını ifade etmektedir. Doğalgazın yanması ile sisteme verilen enerji [45];

$$\dot{Q}_{dg} = \dot{m}_{dg} (H_{dg} + c_{p \text{ ort } dg} (T_{dg} - T_r)) \quad (3.10)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{dg}$  doğalgazın yanma enerjisini,  $\dot{m}_{dg}$  doğalgazın debisini,  $H_{dg}$  doğalgazın alt ısı değerini,  $c_{p \text{ ort } dg}$  doğalgazın ortalama özgül ısısını,  $T_{dg}$  doğalgazın sisteme giriş sıcaklığını ve  $T_r$  tav fırını için alınan referans sıcaklığı ifade etmektedir. Bu denklemde verilen doğalgazın sisteme girdiği sıcaklık ve referans sıcaklığı 20 °C olmasından dolayı denklem;

$$\dot{Q}_{dg} = \dot{m}_{dg} H_{dg} \quad (3.11)$$

olarak yazılabilmektedir. Giren kütüğün absorbe ettiği enerji;

$$\dot{Q}_{kg} = \dot{m}_{kg} c_{p \text{ ort } kg} (T_{kg} - T_r) \quad (3.12)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{kg}$  giren kütüğün absorbe ettiği enerjiyi,  $\dot{m}_{kg}$  giren kütüğün debisini,  $c_{p \text{ ort } kg}$  giren kütüğün ortalama özgül ısısını,  $T_{kg}$  kütüğün giriş sıcaklığını ve  $T_r$  tav fırını için alınan referans sıcaklığını ifade etmektedir. Giren kütüğün ortalama özgül ısısı;

$$c_{p \text{ ort } kg} = \frac{c_p T_{kg} + c_{p \text{ } kg} T_r}{2} \quad (3.13)$$

Denklemini ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde  $c_{p \text{ ort } kg}$  giren kütüğün ortalama özgül ısısını,  $c_p T_{kg}$  kütüğün giriş sıcaklığında özgül ısısını ve  $c_{p \text{ } kg} T_r$  giren kütüğün referans sıcaklıktaki özgül ısısını ifade etmektedir. Çıkan kütüğün absorbe ettiği enerji;

$$\dot{Q}_{kç} = \dot{m}_{kç} c_{p \text{ ort } kç} (T_{kç} - T_r) \quad (3.14)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{k\zeta}$  çıkan kütüğün absorbe ettiği enerjiyi,  $\dot{m}_{k\zeta}$  çıkan kütüğün debisini,  $c_{p\ ort\ k\zeta}$  çıkan kütüğün ortalama özgül ısısını,  $T_{k\zeta}$  kütüğün çıkış sıcaklığını ve  $T_r$  tav fırını için alınan referans sıcaklığı ifade etmektedir. Çıkan kütüğün ortalama özgül ısısı;

$$c_{p\ ort\ k\zeta} = \frac{c_{p\ Tk\zeta} + c_{p\ k\zeta\ Tr}}{2} \quad (3.15)$$

eşitliği ile bulunmuştur. Bu eşitlikte  $c_{p\ ort\ k\zeta}$  çıkan kütüğün ortalama özgül ısısını,  $c_{p\ Tk\zeta}$  kütüğün çıkış sıcaklığında özgül ısısını ve  $c_{p\ k\zeta\ Tr}$  çıkan kütüğün referans sıcaklığındaki özgül ısısını ifade etmektedir. Yakma havası ile sisteme verilen enerji;

$$\dot{Q}_{yh} = \dot{m}_{yh} c_{p\ ort\ yh} (T_{yh} - T_r) \quad (3.16)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{yh}$  yakma havasının enerjisini,  $\dot{m}_{yh}$  yakma havasının debisini,  $c_{p\ ort\ yh}$  yakma havasının ortalama özgül ısısını,  $T_{yh}$  yakma havası tav fırını giriş sıcaklığını ve  $T_r$  tav fırını için alınan referans sıcaklığı ifade etmektedir. Yakma havasının ortalama özgül ısısı;

$$c_{p\ ort\ yh} = \frac{c_{p\ Tyh} + c_{p\ yh\ Tr}}{2} \quad (3.17)$$

denklemini ile bulunmuştur. Bu denklemde  $c_{p\ ort\ yh}$  yakma havasının ortalama özgül ısısını,  $c_{p\ Tyh}$  yakma havasının fırına giriş sıcaklığında özgül ısısını ve  $c_{p\ yh\ Tr}$  yakma havasının referans sıcaklıktaki özgül ısısını ifade etmektedir. Baca gazı ile sistemden çıkan enerji [45];

$$\dot{Q}_{bg} = \dot{m}_{bg} [c_{p\ ort\ bg} (T_{bg} - T_r) + (w (c_{p\ ort\ sb} (T_{sb} - T_r)))] \quad (3.18)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{bg}$  baca gazı enerjisini,  $\dot{m}_{bg}$  baca gazının debisini,  $c_{p\ ort\ bg}$  baca gazının ortalama özgül ısısını,  $T_{bg}$  baca gazının giriş sıcaklığını,  $T_r$  tav fırını için alınan referans sıcaklığı,  $w$  özgül nemi,  $c_{p\ ort\ sb}$  su buharının ortalama özgül ısısını ve  $T_{sb}$  su buharının bulunduğu baca gazının ölçülen sıcaklığını ifade etmektedir. Bu denklemde verilen baca gazının ortalama özgül ısısı;

$$c_{p \text{ ort } bg} = \frac{c_{p Tbg} + c_{p bg Tr}}{2} \quad (3.19)$$

formülü ile bulunur. Bu formülde  $c_{p \text{ ort } bg}$  baca gazının ortalama özgül ısısını,  $c_{p Tbg}$  baca gazının ölçüm sıcaklığında özgül ısısını ve  $c_{p bg Tr}$  baca gazının referans sıcaklığında özgül ısısını ifade etmektedir. Su buharının ortalama özgül ısısı;

$$c_{p \text{ ort } sb} = \frac{c_{p Tsb} + c_{p sb Tr}}{2} \quad (3.20)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $c_{p \text{ ort } sb}$  su buharının ortalama özgül ısısını,  $c_{p Tsb}$  su buharının baca gazı ölçüm sıcaklığındaki özgül ısısını ve  $c_{p sb Tr}$  su buharının referans sıcaklıkta özgül ısısını ifade etmektedir. Baca gazından reküperatör sistemi ile yakma havasına verilen enerji;

$$\dot{Q}_{ryh} = \dot{m}_{bg} c_{p \text{ ort } r} (T_{bg} - T_{rç}) \quad (3.21)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $\dot{Q}_{ryh}$  reküperatörden yakma havasına verilen enerjii,  $\dot{m}_{bg}$  baca gazının debisini,  $c_{p \text{ ort } r}$  baca gazının reküperatör ortalama özgül ısısını,  $T_{bg}$  baca gazının reküperatör giriş sıcaklığını ve  $T_{rç}$  baca gazının reküperatör çıkış sıcaklığını ifade etmektedir. Baca gazının reküperatör ortalama özgül ısısı;

$$c_{p \text{ ort } r} = \frac{c_{p Trg} + c_{p Trç}}{2} \quad (3.22)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir. Bu eşitlikte verilen  $c_{p \text{ ort } r}$  baca gazının reküperatör ortalama özgül ısısını,  $c_{p Tbg}$  baca gazının ölçüm sıcaklığında özgül ısısını ve  $c_{p Trç}$  baca gazının reküperatör çıkış sıcaklığındaki özgül ısısını ifade etmektedir. Tüm özgül ısı değerleri termodinamik tablodan alınmıştır [43].

### 3.2.5. Verimlilik

Tav fırınının verimliliği;

$$\eta = \frac{(\dot{Q}_{kç} - \dot{Q}_{kg})}{(\dot{Q}_{dg} + \dot{Q}_{yh})} 100 \quad (3.23)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $\eta$  ,  $\dot{Q}_{kç}$  ,  $\dot{Q}_{kg}$  ,  $\dot{Q}_{dg}$  ve  $\dot{Q}_{yh}$  ifadeleri sırasıyla tav fırını verimliliğini, çıkan kütüğün absorbe ettiği enerjiyi, giren kütüğün absorbe ettiği enerjiyi, yakıt olarak kullanılan doğalgaz ile sisteme verilen enerjiyi ve yanma havası ile sisteme verilen enerjiyi ifade etmektedir.



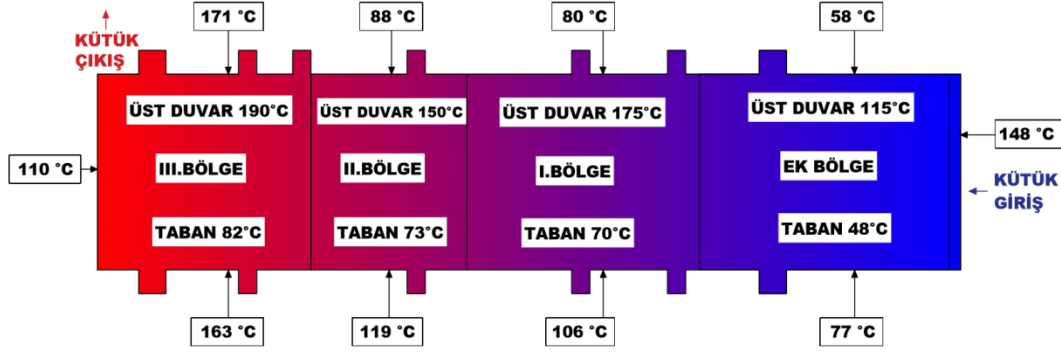
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Tav fırını duvar ısı kayıpları hesaplanmadan önce bölgelere göre duvarlardaki sıralı refrakter gruplarının alanları, Autocad programı ile hesaplanmıştır. Tav fırının ısı transfer alanı toplam 301,039 m<sup>2</sup>'dir. Bu alanların 129,5719 m<sup>2</sup>'si Ek Bölge, 59,3014 m<sup>2</sup>'si I. Bölge, 59,0150 m<sup>2</sup>'si II. Bölge ve 53,1515 m<sup>2</sup>'si III. Bölgedir. Bölgelerin ve refrakter gruplarının hesaplanan alanları aşağıdaki Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Tav fırını duvar ve refrakter gruplarının alanları

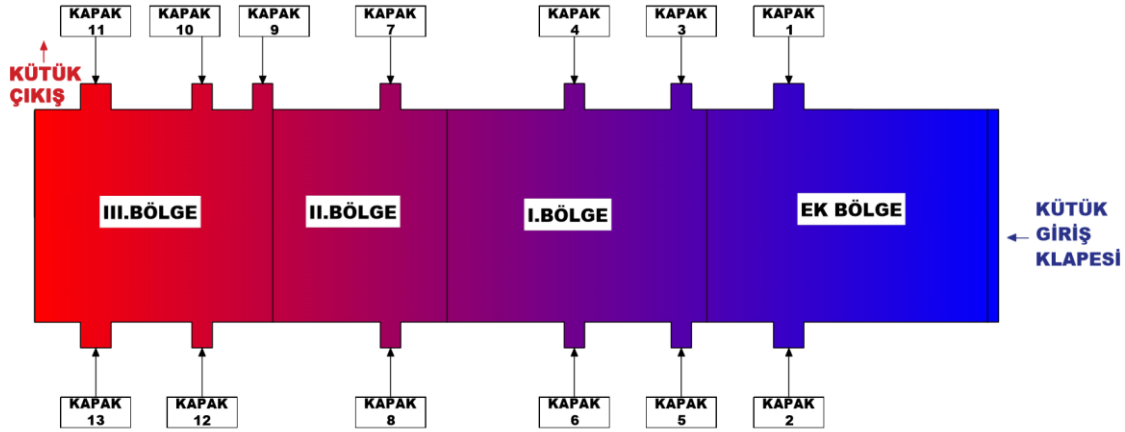
Tav Fırını Duvar ve Refrakter Grupları Alanları						
	Refrakter Grubu Adı	Ek Bölge	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge	
		A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	
Batı Yan Duvar	A	11,6479	7,6606	7,0438	5,3825	
	B	0,6059	0,3652	0,4233	0,2822	
	I	0,0000	0,0000	0,7320	0,4780	
	Kapaklar	Kapak 1	0,5209	0,0000	0,0000	0,0000
		Kapak 3	0,0000	0,1575	0,0000	0,0000
		Kapak 4	0,0000	0,1575	0,0000	0,0000
		Kapak 7	0,0000	0,0000	0,1575	0,0000
		Kapak 9	0,0000	0,0000	0,0000	0,1575
		Kapak 10	0,0000	0,0000	0,0000	0,1575
		Kapak 11	0,0000	0,0000	0,0000	0,3109
Doğu Yan Duvar	A	11,6479	7,6606	7,0438	5,5317	
	B	0,6059	0,3652	0,4233	0,2905	
	I	0,0000	0,0000	0,7320	0,4780	
	Kapaklar	Kapak 2	0,5209	0,0000	0,0000	0,0000
		Kapak 5	0,0000	0,1575	0,0000	0,0000
		Kapak 6	0,0000	0,1575	0,0000	0,0000
		Kapak 8	0,0000	0,0000	0,1575	0,0000
		Kapak 12	0,0000	0,0000	0,0000	0,1575
Kapak 13		0,0000	0,0000	0,0000	0,3109	
Kuzey Yan Duvar	C	1,0035	0,0000	0,0000	0,0000	
	D	0,0830	0,0000	0,0000	0,0000	
	Giriş Klapesi	1,6400	0,0000	0,0000	0,0000	
Güney Yan Duvar	A	0,0000	0,0000	0,0000	6,1760	
	B	0,0000	0,0000	0,0000	0,3403	
Taban Duvar	H	0,0000	0,0000	3,3390	6,2910	
	G	50,5831	21,7099	18,0119	10,8580	
Üst Duvar	E	46,7621	19,0507	18,9755	14,4384	
	F	3,9508	1,8592	1,9754	1,5106	
		<b>129,5719</b>	<b>59,3014</b>	<b>59,0150</b>	<b>53,1515</b>	

Tav fırını duvarlarının dış sıcaklıkları infrared termometreler yardımıyla elle ölçülmüştür. Sıcaklıklarda ölçülen bölge duvarlarının ortalaması o duvarın sıcaklığı kabul edilmiştir. Ölçülen bu sıcaklıklar Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Tav fırını duvarlarının dış yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar

Tav fırınında kütüğün girişi, çıkışı, gözetlenmesi ve bakımı için çeşitli kapaklar bulunmaktadır. İncelenen tav fırınında 13 adet kapak ve 1 adet kütük giriş klapsesi bulunmaktadır. Bu kapakların tav fırınındaki konumları Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Tav fırını kapaklarının konumları

Tav fırınında bulunan kapakların dış yüzeylerindeki sıcaklıklar infrared termometreler yardımıyla ölçülmüştür. Dış yüzey sıcaklıkları kayda değer oranlarda farklılıklar gösterdiğinden dolayı tüm kapaklardaki ısı kayıpları tek tek hesaplanmıştır. Ölçülen kapakların dış yüzey sıcaklıkları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tav fırınının kapaklarının dış yüzey sıcaklıkları

<b>Tav Fırını Kapaklarının Dış Sıcaklıkları (°C)</b>	
Kapak 1	129
Kapak 2	144
Kapak 3	132
Kapak 4	145
Kapak 5	150
Kapak 6	141
Kapak 7	255
Kapak 8	155
Kapak 9	330
Kapak 10	530
Kapak 11	619
Kapak 12	271
Kapak 13	495
Giriş Klapesi	458

Tav fırını iç bölge sıcaklıkları, sistemdeki termokopllar ile ölçülmüş ve ölçümlerin kaydedildiği scada ekranından alınmıştır. Her bölgede bulunan termokoplların ölçtüğü sıcaklıklar, duvarların iç yüzey sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Fakat, Ek Bölgede scada ekranında verilen 1219 °C ile tav fırının girişinde infrared termometreler ile ölçülen 520 °C'nin ortalaması olan 951 °C bölgenin iç ortam sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Tav fırını scada ekranı Şekil 4.13'de verilmektedir. Ayrıca termokopl ile ölçülen iç bölge sıcaklıkları Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Tav fırınında bölgelerin iç yüzey sıcaklıkları

<b>Bölge</b>	<b>(°C)</b>
Ek Bölge	951
I. Bölge	1219
II. Bölge	1332
III. Bölge	1321

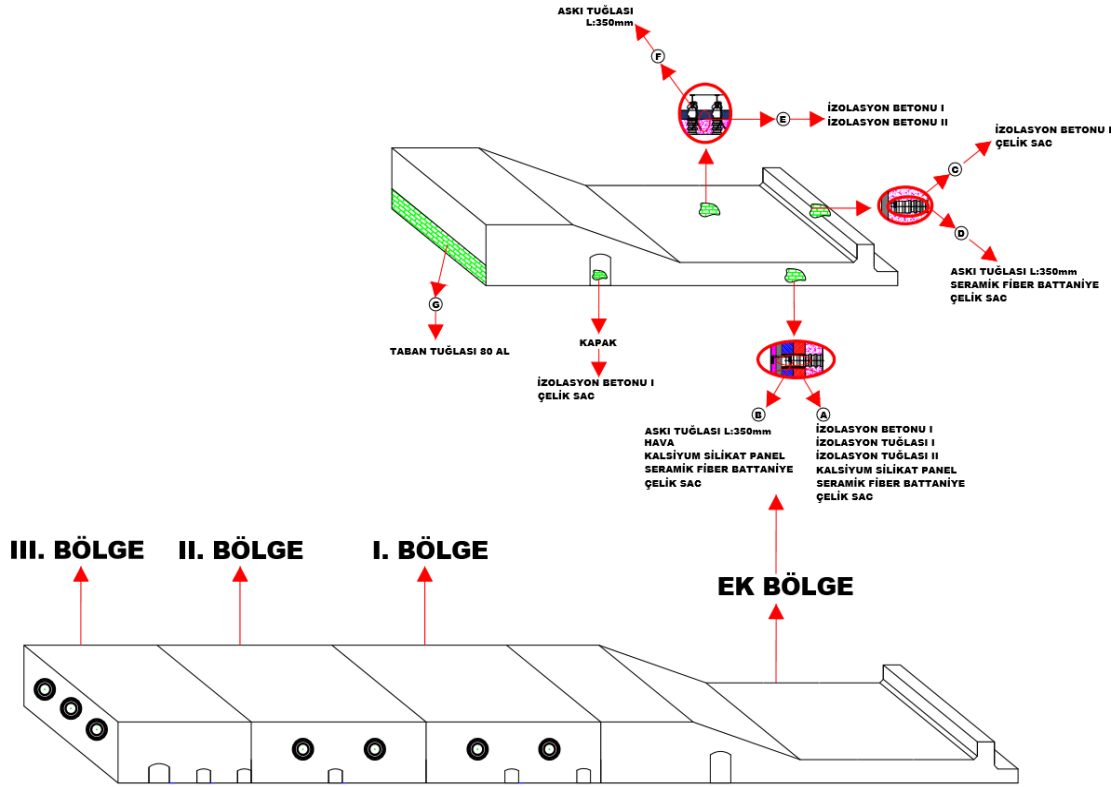
#### 4.1. Tav fırını duvar ısı kayıpları

Tav fırını duvar ısı kayıpları lineer ısı iletim formülü ile bulunmuştur. Duvar ısı kayıpları hesaplanırken öncelikle bölgelere göre ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bölgelerdeki duvarlar, yönlerine göre tek tek hesaplanmış ve en son bölgelerin toplam ısı kayıpları çıkarılmıştır.



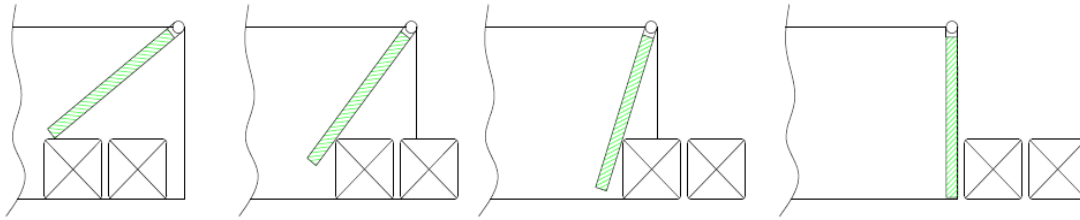
#### 4.1.1. Tav fırını Ek Bölge duvar ısı kayıpları

Ek Bölge içerisinde 8 çeşit sıralı refrakter grubu bulunmaktadır. Bu sıralı refrakter gruplarının özellikleri belirlenerek tek tek duvar kayıpları hesaplanmıştır. Ek Bölgenin kesit görüntüsü ve refrakter dizilimi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Ek Bölgenin duvar kesiti ve refrakter dizilimi

Ek Bölgede taban, üst duvar, doğu yan duvar, batı yan duvar ve kuzey yan duvar bulunmaktadır. Ayrıca, doğu ve batı yan duvarlarda birer adet olmak üzere toplamda 2 adet gözetleme ve temizlik amaçlı kapak yer almaktadır. Kütüğün fırına girişi yaptığı giriş klapeside Ek Bölgede bulunmaktadır. Bu giriş klapesi diğer kapaklardan farklı olarak çelik sacdan imal edilmiştir ve hareketlidir. Altaki kütüğün konumuna göre hareket etmektedir. Giriş klapesinin görüntüsü Şekil 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.4. Tav fırını giriş klapesi

#### 4.1.1.1. Tav fırını Ek Bölge batı yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, Ek Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. Ek Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	11,6479	951,0000	58,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,6059	951,0000	63,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
KAPAK 1	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,5209	951,0000	129,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, Ek Bölge batı yan duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.5'te verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, Ek Bölge batı yan duvarın toplam ısı kaybı 8840,2567 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.5. Ek Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,01216	0,2523	893,0000	3539,0510
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,04488			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,07052			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,04293			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,08176			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00008			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,38510	4,4609	888,0000	199,0632
	HAVA	0,0500	0,0492	1,67727			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,82522			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,57185			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00146			

#### 4.1.1.2. Tav fırını Ek Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, Ek Bölge doğu yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6. Ek Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	11,6479	951,0000	77,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,6059	951,0000	82,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
KAPAK 2	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,5209	951,0000	144,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, Ek Bölge doğu yan duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler detaylı olarak Çizelge 4.7’de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, Ek Bölge doğu yan duvarın toplam ısı kaybı 8667,5937 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.7. Ek Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,01216	0,2523	874,0000	3463,7521
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,04488			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,07052			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,04293			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,08176			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00008			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,38510	4,4609	869,0000	194,8039
	HAVA	0,0500	0,0492	1,67727			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,82522			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,57185			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00146			
KAPAK 2	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,15998	0,1611	807,0000	5009,0377
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00113			
					<b>TOPLAM</b>		<b>8667,5937</b>

#### 4.1.1.3. Tav fırını Ek Bölge kuzey yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, Ek Bölge kuzey yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Ek Bölge kuzey yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
C	İZOLASYON BETONU I	0,4000	1,2000	1,0035	951,0000	148,0000
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
D	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,0830	951,0000	148,0000
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC 0,015 m	0,0150	17,0000			
GİRİŞ KLAPESİ	ÇELİK SAC 0,015 m	0,0150	17,0000	1,6400	520,0000	458,0000

Tav fırını, Ek Bölge kuzey yan duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.9'da verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, Ek Bölge kuzey yan duvarın toplam ısı kaybı 117704,5508 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.9. Ek Bölge kuzey yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
C	İZOLASYON BETONU I	0,4000	1,2000	0,33217	0,3331	803,0000	2411,0493
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00088			
D	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	2,81124	14,29635	803,00000	56,1682
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	11,47447			
	ÇELİK SAC 0,015 m	0,0150	17,0000	0,01063			
GİRİŞ KLAPESİ	ÇELİK SAC 0,015 m	0,0150	17,0000	0,00054	0,00054	62,0000	115237,3333
<b>TOPLAM</b>							<b>117704,5508</b>

#### 4.1.1.4. Tav fırını Ek Bölge taban ısı kayıpları

Tav fırını, tabanının sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Ek Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	50,5831	951,0000	48,0000

Tav fırını, Ek Bölge tabanının sıralı refrakter grupları için hesaplanan ısı kaybı değerleri Çizelge 4.11'de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, Ek Bölge tabanının toplam ısı kaybı 152255,131 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.11. Ek Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	0,00593	0,00593	903,0000	152255,1310

#### 4.1.1.5. Tav fırını Ek Bölge üst duvar ısı kayıpları

Tav fırını, Ek Bölge üst duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.12'de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Ek Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	46,7621	951,0000	115,0000
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	3,9508	951,0000	120,0000

Tav fırını, Ek Bölge üst duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan ısı kaybı değerleri Çizelge 4.13'te verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, Ek Bölge üst duvarın toplam ısı kaybı 100944,0822 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.13. Ek Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	0,00321	0,0096	836,0000	86873,5902
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000	0,00642			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,05906	0,05906	831,0000	14070,4920
<b>TOPLAM</b>							<b>100944,0822</b>

#### 4.1.1.6. Tav fırını Ek Bölge toplam duvar ısı kayıpları

Tav fırını Ek Bölge tüm duvarlarının ayrı ayrı ısı kayıpları Çizelge 4.14'te verilmektedir. Bu duvar kayıplarının toplanması ile oluşan Ek Bölge toplam duvar ısı kayıpları 388411,6144 W'tır.

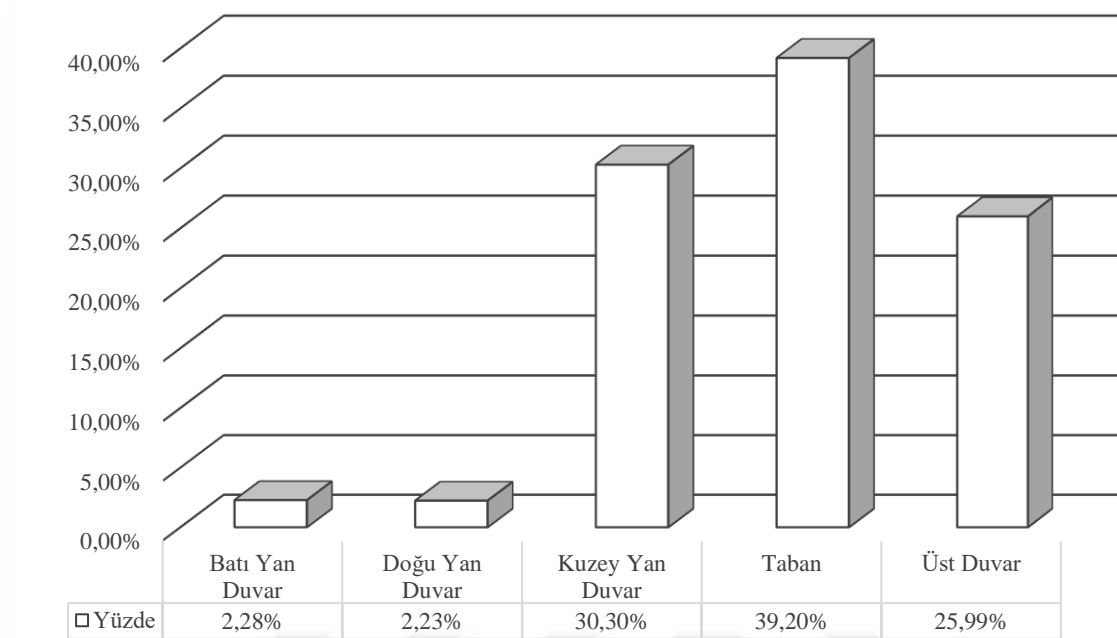
Çizelge 4.14. Ek Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları

Duvar Yönü	Isı Kaybı (W)
Batı Yan Duvar	8840,2567
Doğu Yan Duvar	8667,5937
Kuzey Yan Duvar	117704,5508
Taban	152255,1310
Üst Duvar	100944,0822
<b>Toplam</b>	<b>388411,6144</b>

Ayrıca Ek Bölge duvar ısı kayıpları Şekil 4.5'de yüzdeler olarak verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı kaybı %39,20 ile tabanda olmuştur. Tabandan itibaren sıra ile kuzey yan duvar ve üst duvarda en yüksek ısı kaybı görülmektedir. Tabanda ısı kaybının yüksek olmasının nedeni yetersiz yalıtım malzemesi kullanılmasıdır. Kuzey yan duvarda



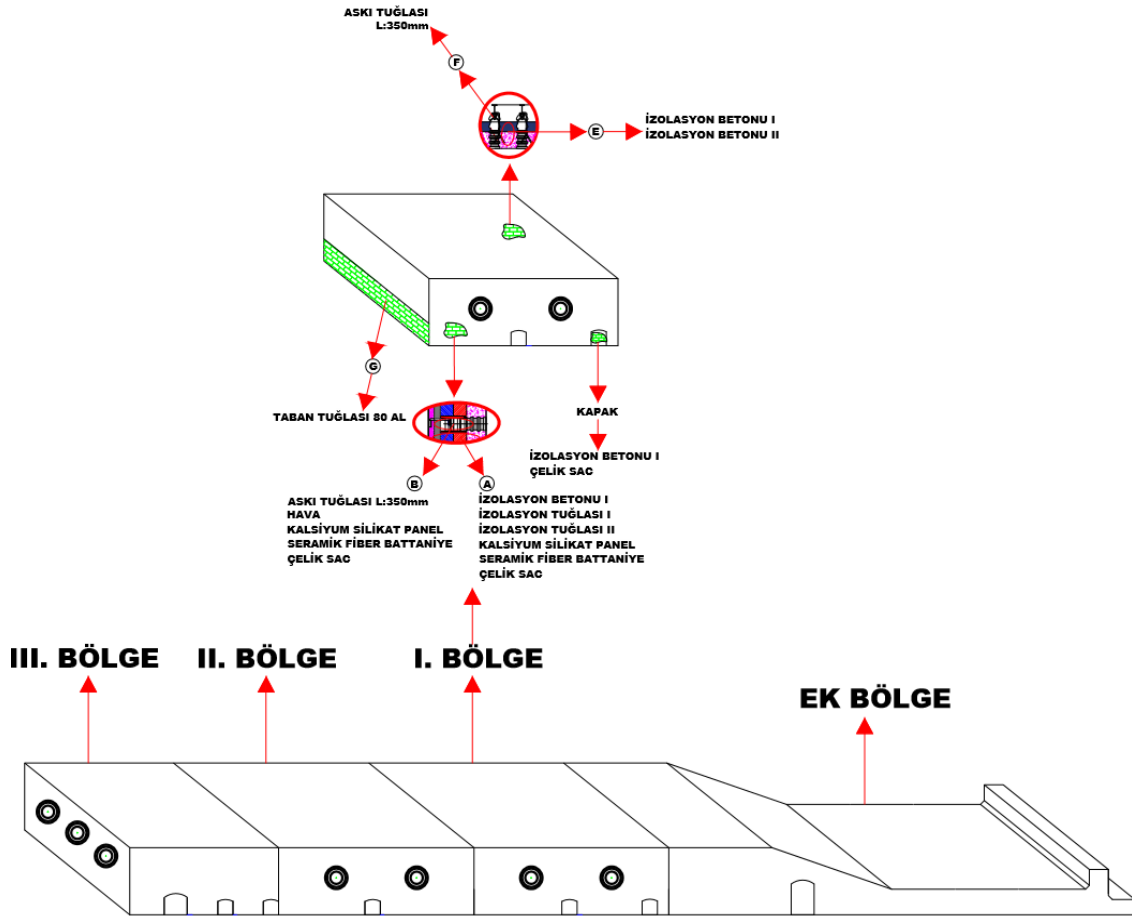
ısı kaybının yüksek olmasının nedeni ise sadece çelikten yapılmış olan kütük giriş klapesinin burada olmasıdır.



Şekil 4.5. Ek Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi

#### 4.1.2. Tav fırını I.Bölge ısı kayıpları

I. Bölge içerisinde 6 çeşit sıralı refrakter grubu bulunmaktadır. Bu sıralı refrakter gruplarının özellikleri belirlenerek tek tek duvar kayıpları hesaplanmıştır. I. Bölgenin kesit görüntüsü ve refrakter dizilimi Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6. I. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi

I. Bölgede taban, üst duvar, doğu yan duvar ve batı yan duvarlar bulunmaktadır. Ayrıca doğu ve batı yan duvarlarda 2'şer adet bulunmak üzere toplamda 4 adet gözetleme ve temizlik amacıyla kapak yer almaktadır.

#### 4.1.2.1. Tav fırını I. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, I. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli tüm ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.15'te verilmektedir.

Çizelge 4.15. I. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
<b>A</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	7,6606	1219,0000	80,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>B</b>	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,3652	1219,0000	85,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>KAPAK 3</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1219,0000	132,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			
<b>KAPAK 4</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1219,0000	145,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, I. Bölge batı yan duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.16'da verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, I.Bölge batı yan duvar toplam ısı kaybı 7177,6379 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.16. I. Bölge Batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,01849	0,3837	1139,0000	2968,7542
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,06824			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,10723			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,06527			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,12432			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00012			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,63892	7,4010	1134,0000	153,2219
	HAVA	0,0500	0,0492	2,78275			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,36911			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	2,60783			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00242			
KAPAK 3	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1087,0000	2040,0298
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
KAPAK 4	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1074,0000	2015,6320
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
					<b>TOPLAM</b>		<b>7177,6379</b>

#### 4.1.2.2. Tav fırını I. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, I. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.17’de verilmektedir.

Çizelge 4.17. I. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
<b>A</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	7,6606	1219,0000	106,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>B</b>	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,3652	1219,0000	111,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>KAPAK 5</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1219,0000	150,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			
<b>KAPAK 6</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1219,0000	141,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, I. Bölge doğu yan duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.18'de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, I. Bölge doğu yan duvarın toplam ısı kaybı 7080,0825 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.18. I. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,01849	0,3837	1113,0000	2900,9863
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,06824			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,10723			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,06527			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,12432			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00012			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,63892	7,4010	1108,0000	149,7089
	HAVA	0,0500	0,0492	2,78275			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,36911			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	2,60783			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00242			
KAPAK 5	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1069,0000	2006,2482
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
KAPAK 6	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1078,0000	2023,1390
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
					<b>TOPLAM</b>		<b>7080,0825</b>

#### 4.1.2.3. Tav firmı I.Bölge taban ısı kayıpları

Tav firmı, I. Bölge tabanın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.19'da verilmektedir.

Çizelge 4.19. I. Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	21,7099	1219,0000	70,0000

Tav fırını, I. Bölge tabanının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.20’de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, I. Bölge tabanı toplam ısı kaybı 83148,917 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.20. I. Bölge taban ve sıralı refrakter grubunun ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	0,01382	0,01382	1149,0000	83148,9170

#### 4.1.2.4. Tav fırını I. Bölge üst duvar ısı kayıpları

Tav fırını, I. Bölge üst duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.21’de verilmektedir.

Çizelge 4.21. I. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	19,0507	1219,0000	175,0000
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	1,8592	1219,0000	180,0000

Tav fırını, I. Bölge üst duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.22’de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, I. Bölge üst duvarı toplam ısı kaybı 52476,3760 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.22. I.Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	0,00787	0,0236	1044,0000	44197,6240
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000	0,01575			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,12550	0,12550	1039,0000	8278,7520
<b>TOPLAM</b>							<b>52476,3760</b>

#### 4.1.2.5. Tav fırını I. Bölge toplam duvar ısı kayıpları

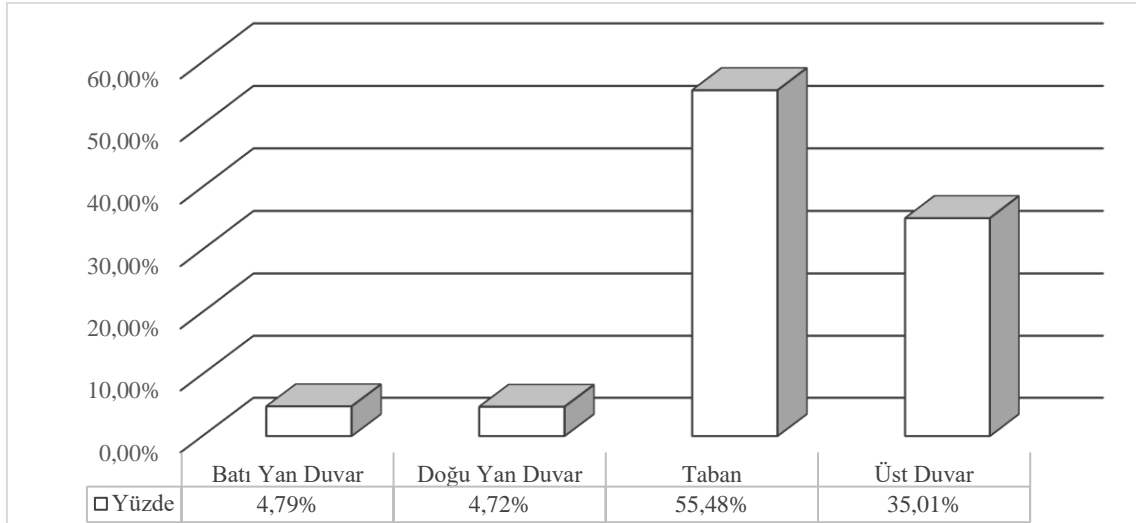
Tav fırını I. Bölge tüm duvarlarının ayrı ayrı ısı kayıpları Çizelge 4.23'te verilmiştir. Bu duvar kayıplarının toplanması ile oluşan I. Bölge toplam duvar ısı kayıpları 149883,0134 W'tır.

Çizelge 4.23. I. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları

Duvar Yönü	Isı Kaybı (W)
Batı Yan Duvar	7177,6379
Doğu Yan Duvar	7080,0825
Taban	83148,9170
Üst Duvar	52476,3760
<b>Toplam</b>	<b>149883,0134</b>

Ayrıca I. Bölge duvar ısı kayıpları Şekil 4.7'de yüzdeler olarak verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı kaybı %55,48 ile tabanda olmuştur. Tabandan sonra en yüksek ısı kaybı üst duvarda görülmektedir. Tabanda ve üst duvarda ısı kaybının yüksek olmasının nedeni yetersiz ısı yalıtım malzemeleri kullanılmasıdır.

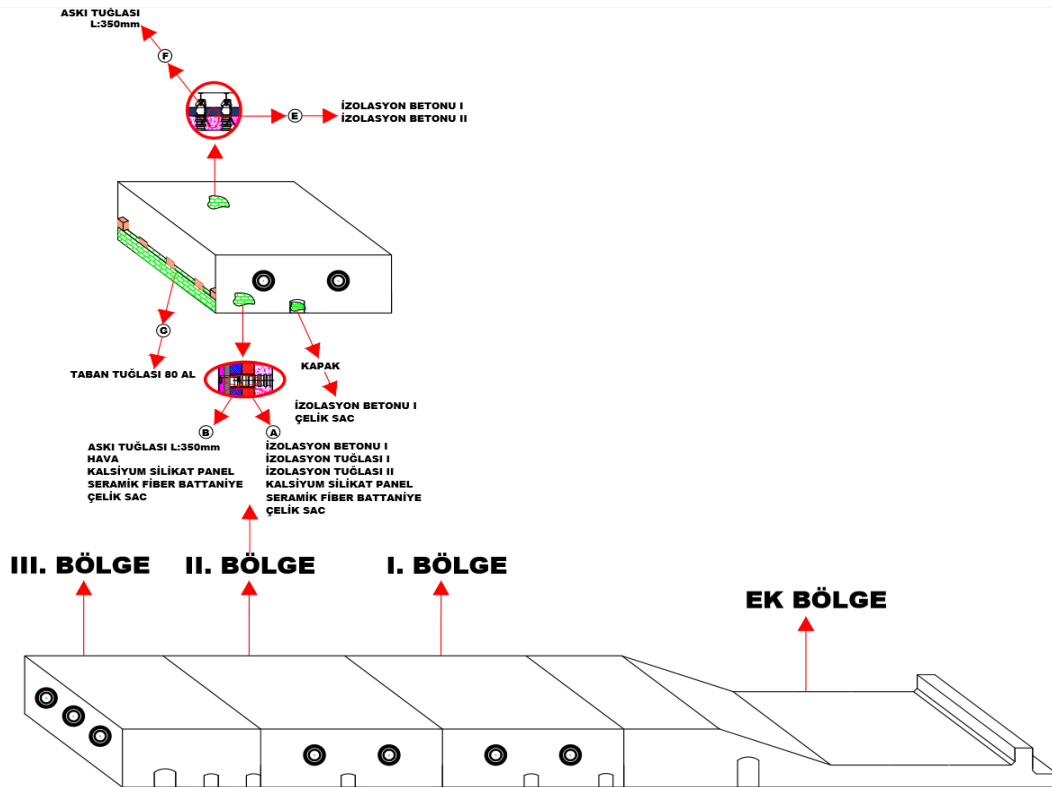




Şekil 4.7. I. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi

#### 4.1.3. Tav fırını II. Bölge ısı kayıpları

II. Bölge içerisinde 7 çeşit sıralı refrakter grubu bulunmaktadır. Bu sıralı refrakter gruplarının özellikleri çıkarılarak tek tek duvar kayıpları hesaplanmıştır. II. Bölgenin kesit görüntüsü ve refrakter dizilimi Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. II. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi

II. Bölgede taban, üst duvar, doğu yan duvar ve batı yan duvar bulunmaktadır. Ayrıca doğu ve batı yan duvarlarda 1'er adet bulunmak üzere toplamda 2 adet gözetleme ve temizlik amacıyla kapak yer almaktadır.

#### 4.1.3.1. Tav fırını II. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, II. Bölge batı yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.24'te verilmektedir.

Çizelge 4.24. II. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	7,0438	1332,0000	119,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,4233	1332,0000	124,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
I	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,7320	1332,0000	129,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
KAPAK 7	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1332,0000	255,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, II. Bölge batı yan duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.25'te verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, II.Bölge batı yan duvarı toplam ısı kaybı 5443,6890 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.25. II. Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,02011	0,4173	1213,0000	2907,0704
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,07421			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,11662			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,07098			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,13521			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00013			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,55122	6,3852	1208,0000	189,1874
	HAVA	0,0500	0,0492	2,40080			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,18120			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	2,24990			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00208			
I	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,05295	3,6883	1203,0000	326,1690
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200	0,52782			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	1,12217			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,68306			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,30107			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00121			
KAPAK 7	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1077,0000	2021,2623
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
<b>TOPLAM</b>							<b>5443,6890</b>

#### 4.1.3.2. Tav fırını II. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, II. Bölge doğu yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.26'da verilmektedir.

Çizelge 4.26. II. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	7,0438	1332,0000	119,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,4233	1332,0000	124,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
I	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,7320	1332,0000	129,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
KAPAK 8	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1332,0000	155,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, II. Bölge doğu yan duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.27'de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, II. Bölge doğu yan duvarı toplam ısı kaybı 5631,3643 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.27. II. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
<b>A</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,02011	0,4173	1213,0000	2907,0704
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,07421			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,11662			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,07098			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,13521			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00013			
<b>B</b>	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,55122	6,3852	1208,0000	189,1874
	HAVA	0,0500	0,0492	2,40080			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,18120			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	2,24990			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00208			
<b>I</b>	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,05295	3,6883	1203,0000	326,1690
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200	0,52782			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	1,12217			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,68306			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,30107			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,00121			
<b>KAPAK 8</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,52910	0,5328	1177,0000	2208,9375
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,00373			
					<b>TOPLAM</b>		<b>5631,3643</b>

#### 4.1.3.3. Tav fırını II. Bölge taban ısı kayıpları

Tav fırını, II. Bölge tabanın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.28’de verilmektedir.

Çizelge 4.28. II. Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
H	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	3,3390	1332,0000	73,0000
	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,4200	2,0000			
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	18,0119	1332,0000	73,0000

Tav fırını, II. Bölge tabanının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.29’da verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, II. Bölge tabanı toplam ısı kaybı 92488,9846 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.29. II. Bölge taban ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
H	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,01161	0,0745	1259,0000	16899,0442
	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,4200	2,0000	0,06289			
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	0,01666	0,0167	1259,0000	75589,9403
					<b>TOPLAM</b>		<b>92488,9846</b>

#### 4.1.3.4. Tav fırını II. Bölge üst duvar ısı kayıpları

Tav fırını, II. Bölge üst duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.30’da verilmektedir.

Çizelge 4.30. II. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	18,9755	1332,0000	150,0000
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	1,9754	1332,0000	155,0000

Tav fırını, II. Bölge üst duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.31’de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, II. Bölge üst duvarı toplam ısı kaybı 59806,7953 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.31. II. Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	0,00790	0,0237	1182,0000	49842,3133
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000	0,01581			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,11812	0,1181	1177,0000	9964,4820
<b>TOPLAM</b>							<b>59806,7953</b>

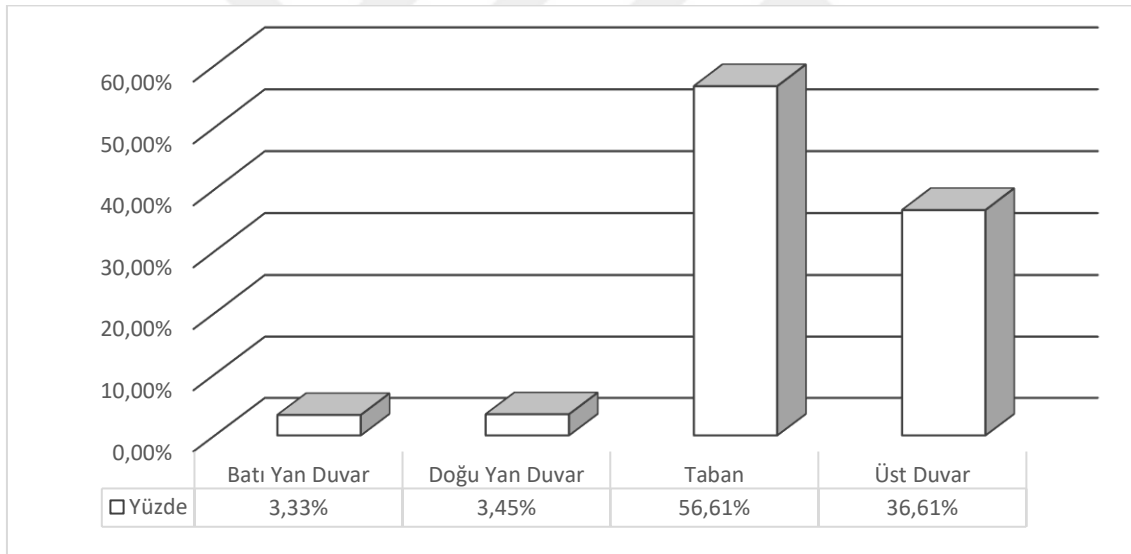
#### 4.1.3.5. Tav fırını II. Bölge toplam duvar ısı kayıpları

Tav fırını II. Bölge tüm duvarlarının ayrı ayrı ısı kayıpları Çizelge 4.32’de verilmektedir. Bu duvar kayıplarının toplanması ile oluşan II. Bölge toplam duvar ısı kayıpları 163370,8332 W’tır.

Çizelge 4.32. II. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları

Duvar Yönü	Isı Kaybı (W)
Batı Yan Duvar	5443,6890
Doğu Yan Duvar	5631,3643
Taban	92488,9846
Üst Duvar	59806,7953
<b>Toplam</b>	<b>163370,8332</b>

Ayrıca II. Bölge duvar ısı kayıpları aşağıda Şekil 4.9'da yüzdeler olarak verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı kaybı %56,61 ile tabanda olmuştur. Tabandan sonra en yüksek ısı kaybı üst duvarda görülmektedir. Tabanda ve üst duvarda ısı kaybının yüksek olmasının nedeni yetersiz yalıtım malzemeleri kullanılmasıdır.

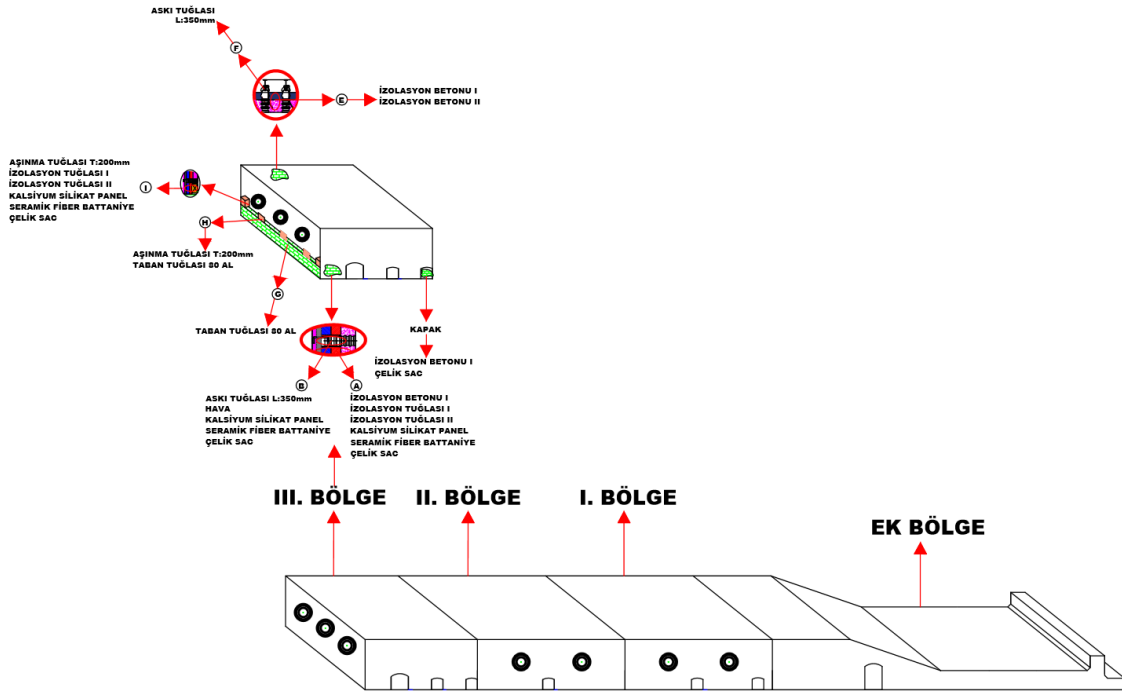


Şekil 4.9. II. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi

#### 4.1.4. Tav fırını III. Bölge ısı kayıpları

III. Bölge içerisinde 8 çeşit sıralı refrakter grubu bulunmaktadır. Bu sıralı refrakter gruplarının özellikleri çıkarılarak tek tek duvar kayıpları hesaplanmıştır. III. Bölgenin kesit görüntüsü ve refrakter dizilimi Şekil 4.10'da gösterilmektedir.





Şekil 4.10. III. Bölge duvar kesiti ve refrakter dizilimi

III. Bölgede taban, üst duvar, doğu yan duvar, batı yan duvar ve güney yan duvar bulunmaktadır. Tav fırını III. Bölgede, sadece bakım, temizlik ve kontrollerde kullanılan 3 adet sabit kapak bulunmaktadır. Bu bölgede, diğer bölgelerden farklı olarak sıcak kütüğün dışarı çıkışını sağlamak için 2 adette açılır kapak bulunmaktadır. Bunlar kütük çıkarken açık ve sonra yeni kütük dışarı çıkıncaya kadar kapalı kalmaktadır. Açılır kapakların açılıp kapanmasıyla oluşan periyot 50 saniyedir. Bu periyot süresi, kütüğün istenilen tav sıcaklığına ulaşması koşulu ile bir haddehanenin üretim kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Açılır kapaklar 11 ve 13 no.lu kapaklardır. 11 no.lu kapak kütüğün tav fırınından çıkış yaptığı kapaktır. 13 no.lu kapak ise tav fırınında, süngü sistemi adı verilen kütüğün dışarı itilerek çıkarılmasını sağlayan mekanizmanın, fırının içine giriş yaptığı yerdir. Aşağıda Çizelge 4.33'te bu kapakların açık ve kapalı kalma süreleri verilmektedir. 13 no.lu kapağın fazla açık kalmasının sebebi süngü mekanizmasının geri dönüş esnasında kaybettiği zamandır.

11 ve 13 no.lu kapakların duvar ısı kayıpları önce komple kapak kapalı olarak hesaplanmış ve daha sonra açık kalma süreleri hesaba katılarak birim zamandaki ısı kaybı hesaplanmıştır "Eş.3.9". Çizelge 4.35'te ve Çizelge 4.37'de kapak ısı kayıpları bu şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.33. 11 ve 13 no.lu açılır kapakların açık kalma süreleri

Kapak Adı	Açık Kalma Süresi (sn)	Kapalı Kalma Süresi (sn)
Kapak 11	12	38
Kapak 13	20	30

#### 4.1.4.1. Tav fırını III. Bölge batı yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, III. Bölge batı yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.34'te verilmektedir.



Çizelge 4.34. III. Bölge batı yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
<b>A</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	5,3825	1321,0000	171,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>B</b>	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,2822	1321,0000	176,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>I</b>	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,4780	1321,0000	181,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>KAPAK 9</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1321,0000	330,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			
<b>KAPAK 10</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1321,0000	530,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			
<b>KAPAK 11</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,3109	1321,0000	619,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, III. Bölge batı yan duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.35'te verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, III.Bölge batı yan duvar toplam ısı kaybı 7748,3151 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.35. III. Bölge batı yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,0263	0,5460	1150,0000	2106,0545
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,0971			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,1526			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,0929			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,1769			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0002			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,8268	9,5778	1145,0000	119,5472
	HAVA	0,0500	0,0492	3,6012			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,7718			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	3,3748			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0031			
I	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,0811	5,6481	1140,0000	201,8360
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200	0,8083			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	1,7185			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,0460			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,9924			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0018			
KAPAK 9	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,5291	0,5328	991,0000	1859,8616
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,0037			
KAPAK 10	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,5291	0,5328	791,0000	1484,5111
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,0037			
KAPAK 11	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,2680	0,2699	702,0000	1976,5046
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,0019			
<b>TOPLAM</b>							<b>7748,3151</b>

#### 4.1.4.2. Tav fırını III. Bölge doğu yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, III. Bölge doğu yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.36'da verilmektedir.

Çizelge 4.36. III. Bölge doğu yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
<b>A</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	5,5317	1321,0000	163,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>B</b>	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,2905	1321,0000	168,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>I</b>	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,4780	1321,0000	173,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
<b>KAPAK 12</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,1575	1321,0000	271,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			
<b>KAPAK 13</b>	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,3109	1321,0000	495,0000
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000			

Tav fırını, III. Bölge doğu yan duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.37'de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, III. Bölge doğu yan duvar toplam ısı kaybı 6313,2800 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.37. III. Bölge doğu yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,0256	0,5313	1158,0000	2179,4902
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,0945			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,1485			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,0904			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,1722			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0002			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,8032	9,3042	1153,0000	123,9231
	HAVA	0,0500	0,0492	3,4983			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,7212			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	3,2784			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0030			
I	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,0811	5,6481	1148,0000	203,2524
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,0850	0,2200	0,8083			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	1,7185			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,0460			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	1,9924			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0018			
KAPAK 12	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,5291	0,5328	1050,0000	1970,5900
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,0037			
KAPAK 13	İZOLASYON BETONU I	0,1000	1,2000	0,2680	0,2699	826,0000	1836,0243
	ÇELİK SAC	0,0100	17,0000	0,0019			
					<b>TOPLAM</b>		<b>6313,2800</b>

#### 4.1.4.3. Tav fırını III. Bölge güney yan duvar ısı kayıpları

Tav fırını, III. Bölge güney yan duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.38’de verilmektedir.

Çizelge 4.38. III. Bölge güney yan duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	6,1760	1321,0000	110,0000
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,3403	1321,0000	115,0000
	HAVA	0,0500	0,0492			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000			

Tav fırını, III.Bölge güney yan duvarının sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.39’da verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, III.Bölge güney yan duvar toplam ısı kaybı 2696,5551 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.39. III.Bölge güney yan duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
A	İZOLASYON BETONU I	0,1700	1,2000	0,0229	0,4759	1211,0000	2544,7151
	İZOLASYON TUĞLASI I	0,1150	0,2200	0,0846			
	İZOLASYON TUĞLASI II	0,1150	0,1400	0,1330			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	0,0810			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	0,1542			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0001			
B	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,6857	7,9426	1206,0000	151,8400
	HAVA	0,0500	0,0492	2,9864			
	KALSİYUM SİLİKAT PANEL	0,0500	0,1000	1,4693			
	SERAMİK FİBER BATTANIYE	0,0500	0,0525	2,7987			
	ÇELİK SAC	0,0150	17,0000	0,0026			
<b>TOPLAM</b>							<b>2696,5551</b>

#### 4.1.4.4. Tav fırını III. Bölge taban ısı kayıpları

Tav fırını, III. Bölge tabanın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.40'da verilmektedir.

Çizelge 4.40. III. Bölge taban sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
H	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	6,2910	1321,0000	82,0000
	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,4200	2,0000			
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	10,8580	1321,0000	82,0000



Tav fırını, III. Bölge tabanın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.41’de verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, III. Bölge tabanın duvar toplam ısı kaybı 76177,1898 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.41. III. Bölge taban ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
H	AŞINMA TUĞLASI T:200	0,2000	5,1600	0,0062	0,0395	1239,0000	31333,6498
	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,4200	2,0000	0,0334			
G	TABAN TUĞLASI 80 AL	0,6000	2,0000	0,0276	0,0276	1239,0000	44843,5400
<b>TOPLAM</b>							<b>76177,1898</b>

#### 4.1.4.5. Tav fırını III. Bölge üst duvar ısı kayıpları

Tav fırını, III. Bölge üst duvarın sıralı refrakter gruplarının ısı kaybı hesaplamaları için gerekli ölçüler ve bulunan değerler Çizelge 4.42’de verilmektedir.

Çizelge 4.42. III. Bölge üst duvar sıralı refrakter gruplarının özellikleri

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	İÇ SICAKLIK(°C)	DIŞ SICAKLIK(°C)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	14,4384	1321,0000	190,0000
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	1,5106	1321,0000	195,0000

Tav fırını, III. Bölge üst duvarın sıralı refrakter grupları için hesaplanan değerler Çizelge 4.43’te verilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda, III. Bölge üst duvarın toplam ısı kaybı 43578,2360 W olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.43. III. Bölge üst duvar ve sıralı refrakter gruplarının ısı kayıpları

REFRAKTER GRUBU	REFRAKTER ADI	L (m)	K (W/m <sup>2</sup> K)	R	Reş	ΔT	Q (W)
E	İZOLASYON BETONU I	0,1800	1,2000	0,0104	0,0312	1131,0000	36288,5120
	İZOLASYON BETONU II	0,1200	0,4000	0,0208			
F	ASKI TUĞLASI L:350	0,3500	1,5000	0,1545	0,1545	1126,0000	7289,7240
<b>TOPLAM</b>							<b>43578,2360</b>

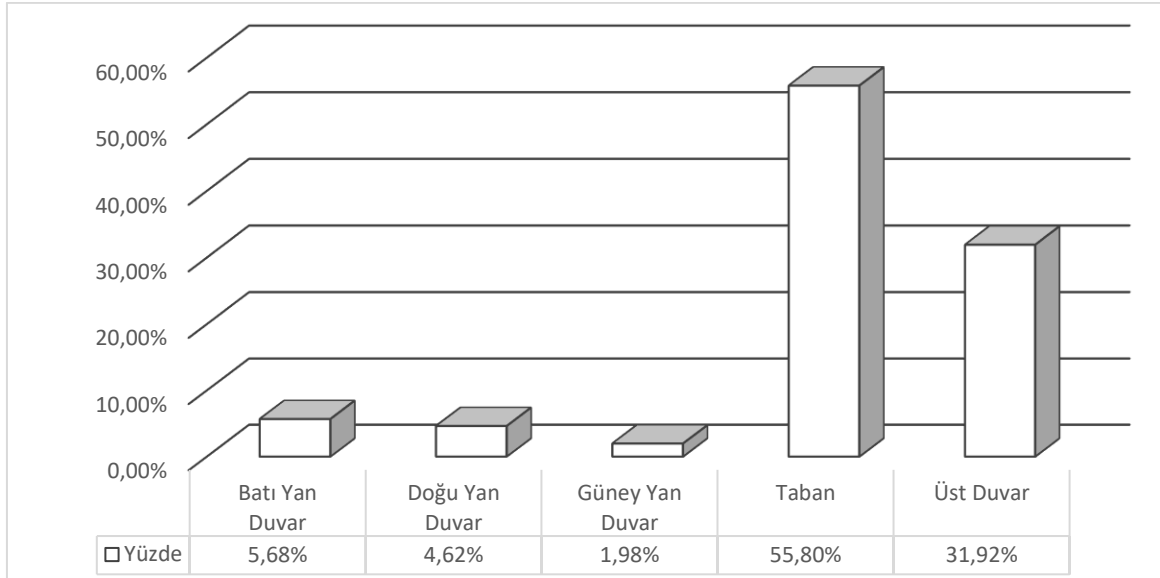
#### 4.1.4.6. Tav fırını III.Bölge toplam duvar ısı kayıpları

Tav fırını III. Bölge tüm duvarlarının ayrı ayrı ısı kayıpları aşağıda Çizelge 4.44'te verilmektedir. Bu duvar kayıplarının toplanması ile oluşan III. Bölge toplam duvar ısı kayıpları 136513,5759 W'tır.

Çizelge 4.44. III. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıpları

Duvar Yönü	Isı Kaybı (W)
Batı Yan Duvar	7748,3151
Doğu Yan Duvar	6313,2800
Güney Yan Duvar	2696,5551
Taban	76177,1898
Üst Duvar	43578,2360
<b>Toplam</b>	<b>136513,5759</b>

Ayrıca III. Bölge duvar ısı kayıpları Şekil 4.11'de yüzdelik olarak verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı kaybı %55,80 ile tabanda olmuştur. Tabandan sonra en yüksek ısı kaybı üst duvarda görülmektedir. Tabanda ve üst duvarda ısı kaybının yüksek olmasının nedeni yetersiz yalıtım malzemeleri kullanılmasıdır.



Şekil 4.11. III. Bölge duvarlarının toplam ısı kayıplarının yüzde gösterimi

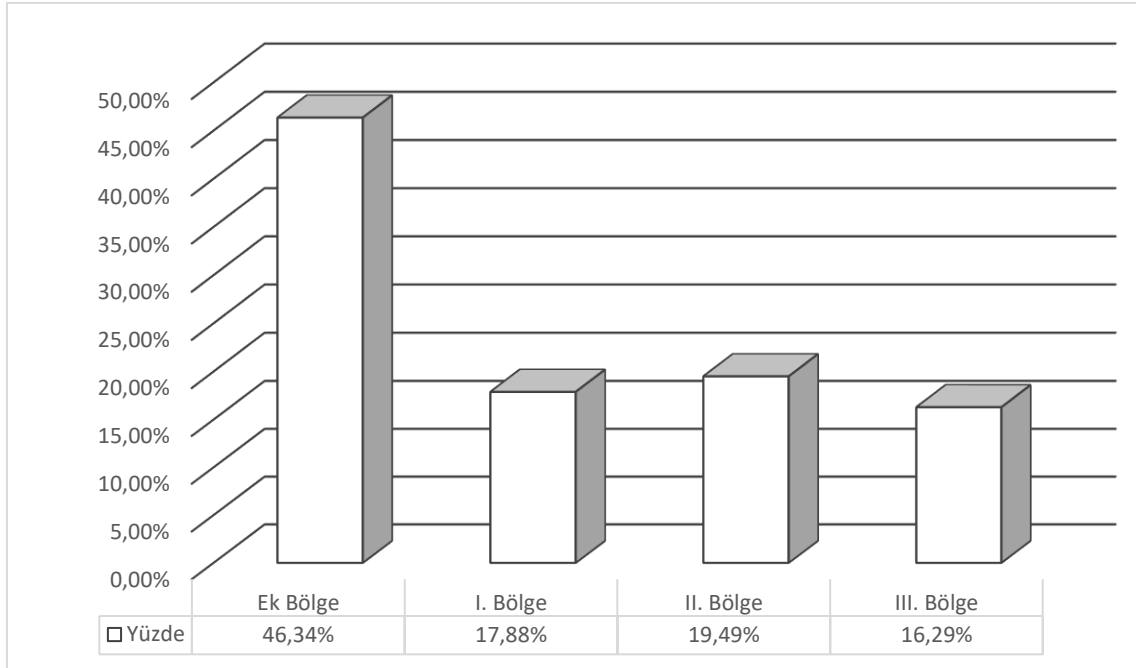
#### 4.1.5. Tav fırını toplam duvar ısı kayıpları

Tav fırını duvarları bölgelerinin ısı kayıpları Çizelge 4.45'te verilmektedir. Bölge duvar kayıplarının toplanması ile oluşan tav fırını toplam duvar ısı kayıpları 838179,0369 W'tır.

Çizelge 4.45. Tav fırını duvarlarının bölgelere göre ısı kayıpları

Bölge Adı	Isı Kaybı (W)
Ek Bölge	388411,6144
I. Bölge	149883,0134
II. Bölge	163370,8332
III. Bölge	136513,5759
<b>Toplam</b>	<b>838179,0369</b>

Ayrıca bölgelerin duvar ısı kayıpları Şekil 4.12'de yüzdelik olarak verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı kaybı %46,34 ile Ek Bölgede olmuştur. Isı kaybının en yüksek Ek Bölgede çıkmasının nedeni alan olarak en büyük bölge olmasıdır.



Şekil 4.12. Tav fırını duvarlarının bölgelere göre ısı kayıplarının yüzde gösterimi

#### 4.2. Doğalgaz ve hava ile tav fırınına verilen enerji

Tav fırınında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Kullanılan doğalgazın kimyasal yapısı ve hacimsel oranları Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.46. Doğalgazın kimyasal yapısı ve hacimsel oranları [46].

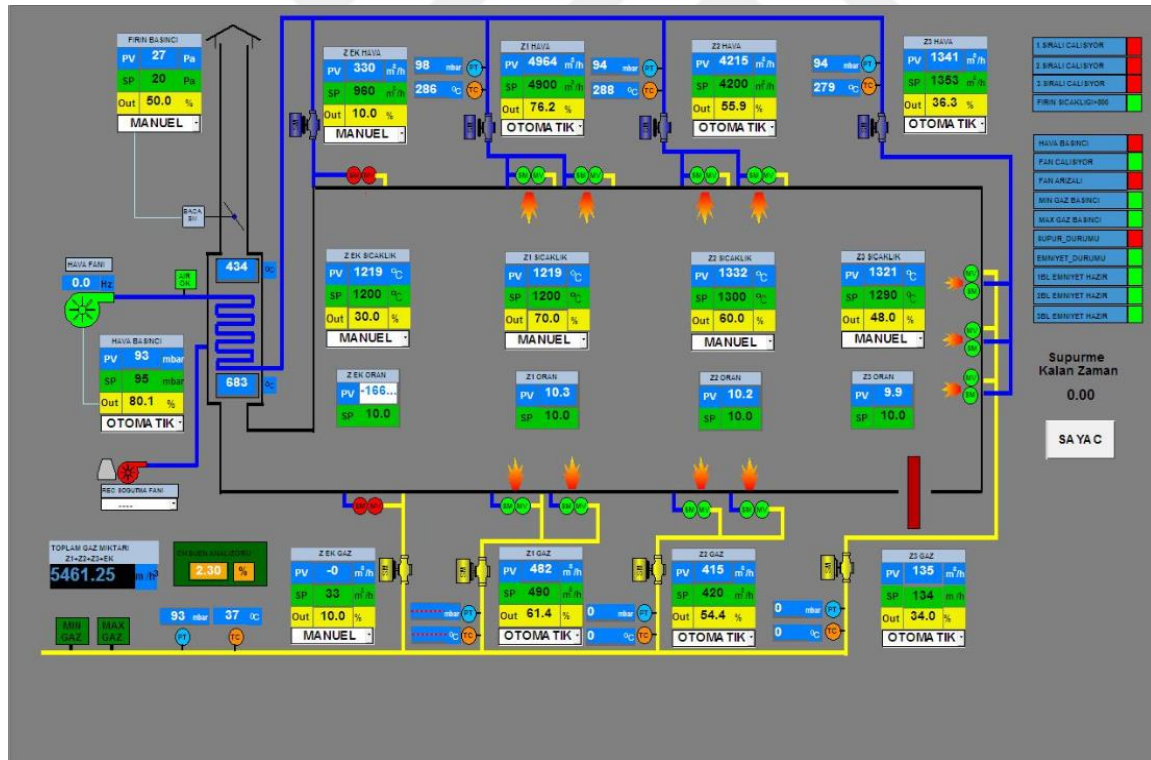
Doğalgaz Kimyasal Yapısı	Hacimsel Oran (%)
CH <sub>4</sub>	92,72
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,96
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,01
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,42
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,09
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,05
N <sub>2</sub>	2,2
CO <sub>2</sub>	0,5

Yakıtın yanması için gerekli O<sub>2</sub> saf olarak kullanılmamaktadır. Ucuz ve her yerde bulunabilir olmasından dolayı havadan elde edilir. Yanma için kimyasal reaksiyona giren havanın kimyasal yapısı ve hacimsel oranları Çizelge 4.45'te verilmiştir.

Çizelge 4.47. Kuru havanın birleşenleri ve hacimsel oranları [47].

Bileşen	Hacimsel Oran(%)
Azot	78,0881
Oksijen	20,9495
Karbondioksit	0,03
Argon	0,93
Neon	0,0018
Helyum	0,00053
Kripton	0,00011
Ksenon	0,000009

Tav fırınına yanma reaksiyonunu gerçekleştirmek için verilen doğalgaz ve hava debileri sistem üzerinde ölçülmektedir. Bu sonuçlar scada ekranında görülmektedir. Tav fırını otomasyonu scada ekranı Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Tav fırını scada ekran görüntüsü

Şekil 4.13'te verilen scada ekranında görülen ve Ek Bölgede verilen hava debisi kontrol edilmiş olup manuel vanalar kapatılmıştır. Hava geçisi olmamasına rağmen geçiş

görülmektedir. Bu yüzden ölçüm yapılan debimetrenin yanlış ölçtüğü kabul edilip, hesaplamalara katılmamıştır.

Hava ve doğalgazın bölgelere göre scada ekranındaki verilere toplam debileri hesaplanmıştır. Ayrıca verilen havanın sıcaklıkları bölgelerdeki sıcaklık ve debiler göz önünde bulundurularak ortalaması alınmıştır. Doğalgaz giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı olan 20 °C ve referans sıcaklığı 20 °C kabul edilmiştir. Referans sıcaklığı tüm sistem hesaplamalarında aynı alınmıştır. Bu hesaplamalara göre Çizelge 4.48’de doğalgaz ve hava ile sisteme verilen enerji verilmiştir.

Çizelge 4.48. Doğalgaz ve hava ile sisteme verilen enerji

	Debi(Nm <sup>3</sup> /h)	Sıcaklık(°C)	Cp ort(kcal/Nm <sup>3</sup> C)	H(kcal/m <sup>3</sup> )	Q(kcal/h)
<b>Doğalgaz</b>	1032,00	20,00	0,379	8250,00	8514000,00
<b>Hava</b>	10520,00	286,00	0,2303		644478,28

Çizelge 4.48’de doğalgazın alt ısıl değeri 8250 kcal/m<sup>3</sup> alınmıştır. Sisteme verilen hava, fırın baca giriş borusu ile baca arasında bulunan reküperatör ile ısıtılarak sisteme gelmektedir. Böylece baca üzerinden atılacak enerjinin belli kısmı tekrar kazanılmaktadır. Bu reküperatörden hava ile geri kazanılan enerji ve enerji denkliği Çizelge 4.49’da verilmiştir.

Çizelge 4.49. Reküperatör sistemi için enerji denkliği

	Debi(Nm <sup>3</sup> /h)	Giriş Sıcaklığı(°C)	Çıkış Sıcaklığı(°C)	cp ort(kcal/Nm <sup>3</sup> K)	Q(kcal/h)	%
<b>Baca Gazından Reküperatördeki Havaya Verilen Enerji</b>	9714,81	683	434	0,3707	896718,7	100,00
<b>Tav Fırınına Hava ile Geri Kazandırılan Enerji</b>	10520	20	286	0,2303	644478,28	74,0069
<b>Diğer</b>					226357,3	25,9931

Çizelge 4.49’da verilen diğer seçeneğindeki enerji kaybı, reküperatör borularında oluşabilecek sızıntı havadan ve reküperatör ile brülör arasındaki boruların yüzey yalıtım kayıplarından kaynaklanmaktadır.

### 4.3. Soğuk ve sıcak kütüğün absorbe ettiği enerji

Haddehane tav istenilen mamül kalitesine göre çeşitli kütükler kullanılmaktadır. Kütüklerin işletme bünyesinde kimyasal analizi yapılmaktadır. Ölçüm yapılan kütüğün kimyasal yapısı Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Enerji analizi yapılan kütüğün kimyasal yapısı

<b>Kütüğün Kimyasal Özellikleri(%)</b>	
Fe	98,0768
C	0,2300
Si	0,1700
Mn	0,8100
P	0,0190
S	0,0320
Cu	0,4200
Ni	0,1200
Mo	0,0200
Al	0,0021
Cr	0,0800
Sn	0,0201

Tav fırınında kullanılan kütüğün, enerji analizleri yapıldığı sıradaki ölçüleri 130x130x3210 mm’ dir. Normal çevre sıcaklığı 20 °C iken kütüğün çelikhaneden tam soğumadan gelmesi nedeniyle giriş sıcaklığı 60 °C ölçülmüştür. Çıkış sıcaklığı da 1230 °C ölçülmüştür. Tav fırınına her 50 saniyede 1 kütük girmektedir. Bu ölçüm sonuçlarına göre tav fırınına giren soğuk kütük ve çıkan sıcak kütüğün absorbe ettiği enerji Çizelge 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.51. Soğuk ve sıcak kütüğün absorbe ettiği enerji

	Debi(kg/h)	Sıcaklık(°C)	Cp ort (kcal/kg°C)	Q(kcal/h)
<b>Soğuk Kütük Absorbe Ettiği Enerji</b>	30661,5348	60	0,1088	133434,09
<b>Sıcak Kütük Absorbe Ettiği Enerji</b>	30661,5348	1230	0,1520	5639269,48

#### 4.4. Baca gazı enerji kayıpları

Tav fırını içerisinde oluşan yanma reaksiyonları sonrası bacadan çıkan gazın özellikleri akredite edilmiş kurumlarca yapılan ölçümler sonucu ortaya çıkarılmaktadır. Bu baca gazı ölçüm sonuçları Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Baca gazı ölçüm sonuçları

<b>Baca Gazı Ölçüm Sonuçları</b>	
Baca Giriş Sıcaklığı (°C)	434
Tav Fırını Çıkış Sıcaklığı (°C)	683
Nem (%)	8,675
Barometrik Basınç (mm Hg)	756,4
Baca Gazı Hızı (m/sn)	4
Baca Kesiti (m <sup>2</sup> )	1,77
Kuru Baca Gazı Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	9714,81

Baca gazı ölçüm sonuçları sonucu 9714,81 Nm<sup>3</sup>/h baca gazı debisi ölçülmüş ve baca gazı içerisindeki özgül nem bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlara göre çıkan baca gazının taşıdığı enerji aşağıdaki Çizelge 4.53’te verilmiştir.

Çizelge 4.53. Baca gazı enerji kayıpları

	Debi(Nm <sup>3</sup> /h)	Sıcaklık(C)	Cp ort bg (kcal/Nm <sup>3</sup> C)	w (H2O/Kuru Gaz)	Cp ort sb (kcal/Nm <sup>3</sup> C)	Q(kcal/h)
<b>Baca Gazı Enerji Kayıpları</b>	9714,81	683,00	0,3528	0,1050	0,5618	2652224,27



Baca gazı enerji kayıp hesabında, baca gazının tav fırınından çıkış sıcaklığı kullanılmıştır. Reküperatörden yanma havasına verilen sıcaklık, enerji dengesinde hava ile sisteme giren enerji olarak hesaplanmıştır. Baca gazı içerisinde bulunan su buharının oluşması ile açığa çıkan enerji doğalgazda alt ısı değer kullanılmasıyla dolayısı hesaba katılmamıştır.

#### 4.5. Enfiltrasyon kayıpları

Enfiltrasyon, tav fırını içerisinde kapakların açıklıkları ve herhangi bir açık noktadan dışarı giden enerji kaybıdır. Tav fırınında büyük oranda 11 ve 13 no.lu kapaklarda meydana gelmektedir. Enfiltrasyonun genellikle III. Bölgede olması dolayısı ile III. Bölge özellikleri bulunmuştur. Bu özellikler aşağıda Çizelge 4.54'te verilmiştir.

Çizelge 4.54. Tav fırını III. Bölge özellikleri

III.Bölge Özellikleri	
İç Sıcaklık (°C)	1321
Dış Sıcaklık (°C)	20
İç Basınç (mbar)	1009,9
Dış Basınç (mbar)	1000
Hacim (m <sup>3</sup> )	28,3044

III. Bölge verilen özelliklerinde, iç sıcaklığı daha önce duvar kayıplarında da kabul edilen termokopl yardımıyla ölçülen sıcaklıktır. Dış ortam sıcaklığı 20 °C kabul edilmiştir. III. Bölge iç basıncı basınç transmitteri ile ölçülen scada ekranında verilen değerdir. Dış basınç 1 Atmosfer kabul edilmiştir.

Enfiltrasyon hesabı kullanılmış olan infiltrasyon debisi için tav fırınına giren ve çıkan debiler bulunmuştur. Tav fırınına giren ve çıkan gaz debileri Çizelge 4.55'te verilmiştir.

Çizelge 4.55. Tav fırını giren ve çıkan gaz debisi denkliği

<b>Giren</b>	
Doğalgaz Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	1032
Hava Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	10520
<b>Çıkan</b>	
Kuru Baca Gazı Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	9714,81
Su Buharı Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	922,8974
Enfiltrasyon Debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	914,2926

Tav fırınında akredite kurumlarca yapılan baca gazı analizlerinde kuru baca gazı ve su buharı debileri ölçülmüştür. Tav fırınına giren doğalgaz ve hava debileri sistem scada ekranında görülmektedir. Tav fırınına giren toplam debiden baca gazı analizlerinde ölçülen debi çıkarıldığında kalan debi infiltrasyon debisi kabul edilmiştir.

Enfiltrasyon hesabı için gerekli diğer veriler EBSILON programı ile hesaplanmıştır. Bu veriler Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.56. Enfiltrasyon verileri

<b>Enfiltrasyon Verileri</b>	
İç Hava Entalpisi (kJ/kg)	30,1545
Dış Hava Entalpisi (kJ/kg)	1488,5378
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	0,2357
Debi (m <sup>3</sup> /h)	914,2926
<b><math>\dot{Q}_{enf} = 87299,9498 \text{ Watt}</math></b>	

Tüm bu veriler ile yapılan hesaplamalarda infiltrasyonla enerji kaybı 87299,9498 W olarak bulunmaktadır.

#### 4.6. Tav fırını enerji denkliği

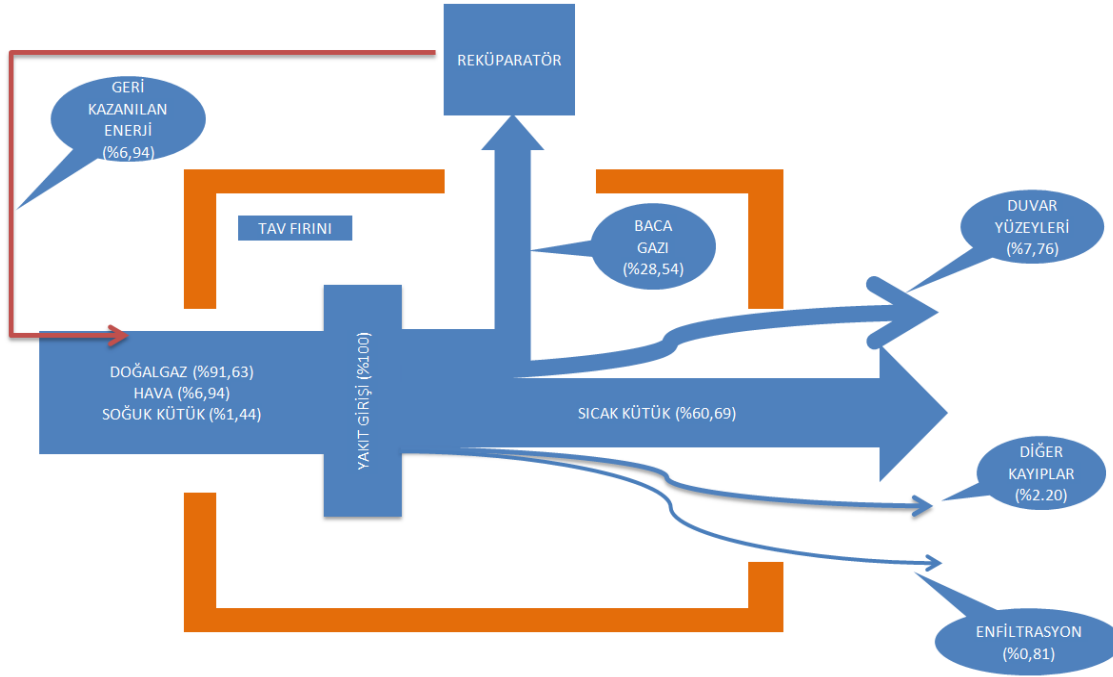
Tav fırını giren çıkan tüm enerji parametreleri tek tek hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.57'de verilen tav fırını enerji denkliği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.57. Tav fırını enerji denklığı

	GİRENLER			ÇIKANLAR				
	Doğalgaz	Hava	Soğuk Kütük	Sıcak Kütük	Duvar Yüzeyleri	Enfiltrasyon	Baca Gazı	Diğer Kayıplar
<b>Debi(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	1032	10520				914,293	9714,810	
<b>Debi(kg/h)</b>			30661,535	30661,53				
<b>Sıcaklık(°C)</b>	20	286	60	1230			683	
<b>Cp ort (kcal/Nm<sup>3</sup>°C)</b>	0,3789	0,2303					0,3528	
<b>Cp ort (kcal/kg°C)</b>			0,1088	0,152				
<b>w (H2O/Kuru Gaz)</b>							0,10497	
<b>Cp ort sb(kcal/Nm<sup>3</sup>°C)</b>							0,5618	
<b>H(kcal/m<sup>3</sup>)</b>	8 250							
<b>Q(Watt)</b>					838179,04	87299,9448		
<b>Q(kcal/h)</b>	8514000,00	644478,28	133439,00	5639269,48	720704,05	75064,42	2652224,27	204655,06
	91,63%	6,94%	1,44%	60,69%	7,76%	0,81%	28,54%	2,20%
	9291917,2803			9291917,2803				

Çizelge 4.57’de verilen diğer kayıplar hesaplanamayan kaçaklardan kaynaklanmaktadır.

Tav fırının genel enerji denklığı yüzdeler olarak Şekil 4.14’te verilen sankey diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Tav fırını enerji denkleğinin sankey diyagramı ile gösterilmesi

#### 4.7. Tav fırını verimi

Tav fırının verimi, çıkan sıcak kütüğün fırın içerisinde aldığı enerjinin, yanma reaksiyonuna tav fırınına giren toplam enerjiye oranının yüzde olarak verilmesi ile bulunur. Hesaplanan tav fırının verimi Çizelge 4.58’de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Tav fırını ısı verimi

Tav Fırını Verimi	
Doğalgaz	8514000,00
Hava	644478,28
<b>Toplam Yakıt</b>	<b>9158478,28</b>
Soğuk Kütük Absorbe Ettiği Enerji	133434,09
Sıcak Kütük Absorbe Ettiği Enerji	5639269,48
<b>Kütüğe Verilen Enerji</b>	<b>5505835,39</b>
	<b>60,12%</b>

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tav fırını tüm giren ve çıkan enerji verileri incelenerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar boyunca tav fırını için enerji denkliği oluşturulmuştur. Tav fırınına toplam 9291917,2803 kcal/h enerji girişi bulunmaktadır. Bu enerji girişinin %91,63'ü doğalgazdan, %6,94'ü yanma havasından ve %1,44'ü soğuk kütükten sağlanmaktadır. Tav fırınından çıkan enerjiler ise %60,69 ile sıcak kütükten, %7,76 ile duvar yüzeyinden kayıp olarak, %0,81'i enfiltrasyon ile hava kayıplarında, %28,54 ile baca gazından ve %2,2 ile diğer kayıplardan oluşmaktadır.

Enerji dengesi oluşturulduktan sonra tav fırını ısı verimi hesaplanmıştır. Tav fırını verimi %60,12 olarak bulunmuştur. Tav fırını hesaplamalarında bulunan enerji kayıpları ve ölçülen değerler göz önünde bulundurularak, enerji verimliliğini artırıcı yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

- Enerji analizi yapılan haddehanenin, çelikhaneli yakında olmadığından sıcak şarj imkânı yoktur. Ama çelikhaneliden ilk geldiği zaman ortalama 150 °C ölçülmüştür. Çelikhaneliden 11,8 m ile 12,1 m aralığında gelen kütük, çekilen son mamule göre tav fırının içi kısmının ölçülerinde kesilmektedir. Elle kesim yapılmasından dolayı kütük su ile soğutulmaktadır. Uygun bir otomatik kesim yöntemi ile kütük 150 °C fırına girebilecektir. Kütüğün 60 °C yerine tav fırınına 150 °C' de girmesi ile kayıp enerjiden yaklaşık 357112,3 kcal/h enerji kazanımı olacağı görülmüş olup buda toplam kaybın %3,84'üne denk gelmektedir.
- Reküperatörden yakma havasına verilen enerji ile yakma havasından sisteme verilen enerji arasında 226357,3 kcal/h fark bulunmaktadır. Bu kayıp toplam enerji kaybının %2,44'üne denk gelmektedir. Bu kayıp, reküperatör borularında oluşabilecek sızıntı havadan ve reküperatör ile brülör arası boruların yüzey kayıplarından meydana gelmektedir. Reküperatörün kontrol edilerek değiştirilmesi ve reküperatör brülör arası boruların yalıtımlarının iyileştirilmesi ile enerji kaybı azaltılabilecektir. Bu önlemler ayrıca yakma havasının 400 °C'ye kadar ısıtılmasını da sağlayacaktır.
- Tav fırını Ek Bölgede bulunan giriş klapesinden 99137,8352 kcal/h enerji kaybı olmuştur. Bu kayıp toplam enerji kaybının %1,07'sine denk gelmektedir. Kaybın bu kadar yüksek olmasının sebebi giriş klapesinin sadece çelikten yapılmasıdır. Soğuk kütüğün, tav fırınına giriş yönünün değiştirilmesi, giriş klapesi yalıtım malzemesinin değiştirilmesi ve

kütüğün giriş boşluğunun en alt seviyede olacak şekilde yeni klape dizaynı yapılması gibi çözümlerin bir veya birkaçının beraber yapılması enerji kaybını en alt seviyeye indirecektir.

- Enerji kayıpları, duvar yüzeylerinde en fazla tav fırını tabanı ve üst duvarda meydana gelmektedir. Tabandaki ve üst duvardaki kayıp yalıtım malzemelerinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Taban tuğlalarının altına tıpkı diğer kullanılan alanlarda olduğu gibi aynı kalınlıkta kalsiyum silikat panel ve seramik fiber battaniye konulması kayıp miktarını 1300890 kcal/h'den 58414,98 kcal/h'e kadar indirecektir. Kazanılan enerji miktarı 72475,03 kcal/h olup buda toplam kaybın %0,73'üne denk gelmektedir. Üst duvarda ise yine kalsiyum silikat panel ve seramik fiber battaniye koyularak kayıp miktarı 86796,3 kcal/h'den 48890,82 kcal/h'e indirilebilir. Kazanılan enerji 37905,4 kcal/h olup buda toplam kaybın %0,41'ine denk gelmektedir. Tav fırınında, enerji verimliliğini arttıracak yöntemlerin uygulanması ile toplam enerji kazancı 792987,8652 kcal/h olacaktır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Tav fırını enerji verimliliğini arttıracak yöntemlerin toplam enerji tasarrufu

Tav Fırını Enerji Verimliliğini Arttıracak Yöntemler		Enerji Tasarrufu(kcal/h)
1	Tav Fırını Kütük Şarj Sıcaklığının 150°C' ye Çıkarılması	357112,3
2	Rekuperatörden Yakma Havasına Geçen Enerjinin Kaybının Önlenmesi	226357,3
3	Giriş Klapesi Yüzeyinden Kaynaklanan Enerji Kaybının Önlenmesi	99137,8352
4	Tav Fırını Taban Yalıtımının İyileştirilmesi	72475,03
5	Tav Fırını Üst Duvar Yalıtımının İyileştirilmesi	37905,4
<b>TOPLAM</b>		<b>792987,8652</b>

Tav fırını kütük giriş sıcaklığının artırılması tav fırını ısı verimini etkilememektedir. Enerji verimliliğini arttırıcı yöntemlerin uygulanması ile yeni ısı verim %61,54 olacaktır.

Bulunan toplam enerji kazancı tav fırınına daha az doğalgaz girmesine neden olacaktır. Bu da doğalgaz miktarında azalmaya neden olacaktır. Doğalgaz tüketim miktarındaki azalma ile yıllık olarak işletmenin kazancı Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu maliyet yıllık 738947,04 TL'dir.

Çizelge 5.2. Enerji verimliliğinin işletmeye yıllık kazancı

<b>Enerji Verimliliğinin İşletmeye Yıllık Kazancı</b>	
Enerji Tasarrufu (kcal/h)	792987,87
Doğalgaz Alt Isıl Değeri (kcal)	8250,00
Doğalgaz Tasarrufu (m <sup>3</sup> /h)	96,120
Yıllık Doğalgaz Tasarrufu (m <sup>3</sup> /yıl)	842008,93
Doğalgaz Birim Fiyat (TL/m <sup>3</sup> )	0,878
<b>Yıllık Maliyet Tasarrufu (TL/yıl)</b>	<b>738947,04</b>

Yıllık maliyet tasarruf hesaplamaları, enerji verimliliği arttırıcı yöntemlerin %100 verimle çalışacağı kabul edilerek hesaplanmıştır. Verimliliği arttırıcı yöntemlerin uygulanması ile oluşacak işletme maliyeti yaklaşık olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). Her bir yöntem için çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Bundan dolayı en verimli olacağı düşünülen yöntem ile hesaplama yapılmıştır. Bu maliyet içerisine tav fırınının duruş süresince işletmenin kaybı hesaba katılmamıştır. Yıllık olarak tav fırınında yapılan 15 günlük bakım duruşlarında planlandığı kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Enerji verimliliği arttırıcı yöntemlerin işletmeye maliyeti

<b>Tav Fırını Enerji Verimliliğini Arttıracak Yöntemler ve Uygulamaları</b>		<b>Uygulama Maliyeti (TL)</b>
<b>1</b>	Tav Fırını Kütük Şarj Sıcaklığının 150°C'ye Çıkarılması - Otomatik Şaloma Kesim Makinası Yapılması (Role Yolları ve İşçilik Dahil)	135000
<b>2</b>	Rekuperatörden Yakma Havasına Geçen Enerjinin Kaybının Önlenmesi - Yeni Rekuperatör Montajı ve Borulara İzolasyon Yapılması (İşçilik Dahil)	180000
<b>3</b>	Giriş Klapesi Yüzeyinden Kaynaklanan Enerji Kaybının Önlenmesi - Kuzey Yan Duvar Giriş Klapesi Bölümünün Duvar Olarak Örülməsi ve Batı Yan Duvardan Giriş Kapağı Açılması (İşçilik Dahil)	25000
<b>4</b>	Tav Fırını Taban Yalıtımının İyileştirilmesi - Yalıtıma Kalsiyum Silikat Panel ve Seramik Fiber Battaniye Eklenmesi (İşçilik Dahil)	50000
<b>5</b>	Tav Fırını Üst Duvar Yalıtımının İyileştirilmesi - Yalıtıma Kalsiyum Silikat Panel ve Seramik Fiber Battaniye Eklenmesi (İşçilik Dahil)	22500
<b>TOPLAM</b>		<b>412500</b>

Enerji verimliliği arttırıcı yöntemlerin işletmeye maliyeti toplam 412500 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık olarak işletmenin yapacağı tasarruf göz önünde bulundurulursa amortisman süresi 6,7 aydır. Bu süre yatırım için ideal bir süredir.

## KAYNAKLAR

1. Ellablan, O., Rub, H. and Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39: 748-764.
2. Aktaş, E. ve Alioğlu, O. (2012).Türkiye’de enerji sektörü analizi:Marmara bölgesi termik santraller örneği. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1): 281-298.
3. Bayrak, M. ve Esen, Ö. (2014). Türkiye’ nin enerji ihtiyacı açığı ve çözümüne yönelik arayışlar. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 28 (3): 139-158.
4. Hasanbeige, A., Price, L., Chunxia, Z., Aden, N., Xiuping, L., and Fangqin, S. (2014). Comparison of iron and steel production energy use and energy intensity in China and the U.S. *Journal of Cleaner Production* , 65: 108-119.
5. Wu, J., Wang, R., Pu, G. and Qi, H. (2016). Integrated assessment of exergy, energy and carbon dioxide emissions in an iron and steel industrial network. *Applied Energy*, 183: 430-444.
6. He, K. and Wang, L. (2017). A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70: 1022-1039.
7. Ateş, S., A. (2015). Energy efficiency and CO<sub>2</sub> mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system. *Energy*, 90(1): 417-428.
8. Porzio, G., F., Fornai, B., Amato, A., Matarese, N., Vannucci, M., Chiappelli, L. and Colla, V. (2013). Reducing the energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions of energy intensive industries through decision support systems – An example of application to the steel industry. *Applied Energy*, 112: 818-833.
9. Odabaş, M., Çay, Y. ve Kılınç, E. (2014). Yüksek Fırınlarda Enerji Verimliliği Analizi: Kardemir A.Ş. Örneği, *ISITES2014* Karabük;1807-1820.
10. Kara, O., Hürdoğan, E. ve Kaşka Ö. (2015). Endüstriyel Bir Fırının Atık Isısının Enerji Verimliliğine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015*, 12(4); 95-101.
11. Lin, B. and Wang X., 2014. Exploring energy efficiency in China's iron and steel industry: A stochastic frontier approach. *Energy Policy*,72: 87-96
12. Pan, H., Zhang, X., Wu, J., Zhang, Y., Lin, L., Yang, G., Deng, S., Yu, X., Qi, H. and Peng, H. (2016). Sustainability evaluation of a steel production system in China based on emergy. *Journal of Cleaner Production*, 112(2): 1498-1509.
13. Lu, B., Chen, G., Chen, D. and Yu, W. (2016). An energy intensity optimization model for production system in iron and steel industry. *Applied Thermal Engineering*, 100: 285-295.



14. Pauliuk, S., Wang, T. and Müller, D. B. (2013). Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 71: 22-30.
15. Çevik, B. (2017). Demir çelik sektörü. Türkiye İş Bankası iktisadi araştırmalar bölümü.
16. Wen, Z., Meng, F. and Chen M. (2014). Estimates of the potential for energy conservation and CO<sub>2</sub> emissions mitigation based on Asian-Pacific Integrated Model (AIM): the case of the iron and steel industry in China. *Journal of Cleaner Production*, 65: 120-130.
17. Kabak, Ö., Ülengin, F., Çekyay, B., Önsel, Ş. and Özaydın, Ö. (2016). Critical Success Factors for the Iron and Steel Industry in Turkey: A Fuzzy DEMATEL Approach. *International Journal of Fuzzy Systems*, 18(3): 523-536.
18. İnternet: Türkiye çelik üreticileri derneği. Türkiye çelik haritası. URL: <http://celik.org.tr/harita/>, Son erişim tarihi: 12.05.2018.
19. Strezev, V., Evans, A. and Evans, T. (2013). Defining sustainability indicators of iron and steel production. *Journal of Cleaner Production*, 51: 66-70.
20. Karali, N., Xu, T. and Sathaye, J. (2014). Reducing energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions by energy efficiency measures and international trading: A bottom-up modeling for the U.S. iron and steel sector. *Applied Energy*, 120: 133-146.
21. Wang, F., Wang, S., Zhang, L., Yang, H., Gao, W., Wu, Q. and Hao, J. (2016). Mercury mass flow in iron and steel production process and its implications for mercury emission control. *Journal of Environmental Sciences*, 43: 293-301.
22. Pan, H., Zhang, X., Wu, J., Zhang, Y., Lin, L., Yang, G., Deng, S., Li, L., Yu, X., Qi, H. and Peng, H. (2016). Sustainability evaluation of a steel production system in China based on emergy. *Journal of Cleaner Production*, 112(2): 1498-1509.
23. İnternet: Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş., Hurdadan uzun çelik üretim süreci. URL: <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/celik-uretim-sureci-685.html>, Son erişim tarihi: 11.06.2018
24. Kapil, S., Eberhard, P. and Dwivedy, S., K. (2014). Nonlinear Dynamic Analysis of a Parametrically Excited Cold Rolling Mill. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 136(4)
25. Chakraborty, S., Rajora, A., Singh, S., P. and Talukdar, P. (2017). Heat transfer and discrete phase modelling of coal combustion in a pusher type reheating furnace. *Applied Thermal Engineering*, 116: 66-78.
26. Mello, J. D. B., Gonçalves, J. L. and Costa, H. L. (2013). Influence of surface texturing and hard chromium coating on the wear of steels used in cold rolling mill rolls. *Wear*, 302(1,2): 1295-1309.

27. Abuluwefa, H. T. (2013). Optimizing the Process of Steel Slab Reheating in Pusher Type Reheat Furnace Prior to Hot Working. *Applied Mechanics and Materials*, 325-326: 364-370.
28. Singh, V. K. and Talukdar. P. (2013). Comparisons of different heat transfer models of a walking beam type reheat furnace. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 47: 20-26.
29. Emari, A., Saboonchi A., Taheri, M. and Hassanpour, S. (2014). Heating characteristics of billet in a walking hearth type reheating furnace. *Applied Thermal Engineering*. 63(1): 396-405.
30. İnternet: Aydınlar refrakter. URL: <http://www.aydinlarrefrakter.com/>, Son erişim tarihi: 12.05.2018.
31. Morgado, T., Coelho, P. and Talukdar, P. (2015). Assessment of uniform temperature assumption in zoning on the numerical simulation of a walking beam reheating furnace. *Applied Thermal Engineering*, 76: 496-508.
32. Campana, F., Bianchi, M., Branchini, L., Pascale, A., Peretto, A., Baresi, M., Fermi, A., Rossetti, N. and Vescovo, R. (2013). ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings. *Energy Conversion and Management*, 76: 244-252.
33. Chen, W. H., Chung, Y. C. and Liu, J. L. (2005). Analysis on energy consumption and performance of reheating furnaces in a hot strip mill. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32(1): 695-706.
34. Ertem, G., Çelik, B. ve Yeşilyurt, S. (2008). Endüstriyel tav fırınlarında ısı denkliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi. *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, 1-8.
35. Manatura K. and Tangtrakul M. (2010). A study of specific energy consumption in reheating furnace using regenerative burners combined with recuperator. *Silpakorn U Science & Tech J.*, 4 (2): 7-13.
36. Ertem, M. E., Şen, S., Akar, G., Pamukçu, C. and Gürgen, S. (2010). Energy balance analysis and energy saving opportunities for Erdemir slab furnace #3. *Energy Sources, Part A*, 32 (11): 979-994.
37. Si, M., Thompson, S. and Calder, K. (2011). Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1): 2904-2908.
38. Kılınç, E. (2012). Endüstriyel fırınlarda enerji analizi ve verim arttırıcı yöntemler. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina mühendisliği anabilim dalı, Yüksek lisans tezi.
39. Eyidogan, M., Kaya, D., Dursun Ş. ve Taylan, O. (2014). Endüstriyel tav fırınlarında enerji tasarrufu ve emisyon azaltım fırsatları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 29(4), 735-743.

40. Vatandaş, S. (2016). Sanayi fırınlarında enerji ve ekserji verimliliği;örnek çalışma emaye pişirme fırını verimlilik projesi enerji ve ekserji analizlerinin gerçekleştirilmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina mühendisliği anabilim dalı, Yüksek lisans tezi.
41. Feng, H., Chen, L., Xie, Z. and Sun, F. (2014). Constructal entransy dissipation rate minimization for variable cross-section insulation layer of the steel rolling reheating furnace wall. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 52: 26-32.
42. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2011). *Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla*, 5. Baskı, Çeviri Editörü: Pınarbaşı, A., Güven Bilimsel, İzmir, 753-757, 764.
43. Halıcı, F. ve Gündüz, M. (2010). *Örneklerle ısı geçişi, ısı transferi*. Birsen yayınevi, 0029, 563, İstanbul
44. Dossat, R. J. and Horan, T. J. (2001). *Principles of Refrigeration*, 5th edition. Prentice Hall, 0130272701,464, England.
45. İnternet: Proweb mühendislik. Endüstriyel fırınlarda kütle ve enerji analizi. URL: [www.pw.com.tr/ss/upload/upload2248.pdf](http://www.pw.com.tr/ss/upload/upload2248.pdf) , Son erişim tarihi: 12.05.2018.
46. Turgutlu, G. A. ve Yurddaş, A. (2016). Bir ısıl işlem fırınının termodinamik analizi. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1): 75-92.
47. Eyriboyun, M., 2009.Yanma ders notları: Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,Zonguldak.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIRIM, Adem  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 16.03.1987, Afşin  
 Medeni hali : Evli  
 e-mail : ademmyildirim@hotmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/ Makina Mühendisliği	2018
Lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi/ Makina Mühendisliği	2008
Lise	Avcılar Lisesi	2004

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	KOÇ METALURJİ A.Ş.	Makine Bakım Müdürü
2011-2015	TOSYALI DEMİR ÇELİK A.Ş.	Mühendis
2009-2011	BAŞTUĞ DEMİR ÇELİK A.Ş.	Mühendis

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Yıldırım A., Yağlı H., Koç Y., Koç A., Güven F. (2017). Heat transfer analysis of a reheat furnace in iron and steel industry. *International Iron and Steel Symposium (UDCS'17)*, Karabük. April 2017, pp.583-588.

### Hobiler

Sinema, Basketbol

## DİZİN

**A**

Abstract · v  
Autocad · 21  
Araştırma · 21

**B**

Brülör · 13, 14  
Bacagazı · 63, 64,  
Bazik oksijen fırını · 4, 5

**C****Ç**

Çizelge · 3, 11, 13, 14, 21, 23, 25,  
26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35,  
36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44,  
45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53,  
54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61,  
62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70

**D**

Dizin · 76  
Demir çelik · 1, 2, 3, 4  
Doğalgaz · 17, 59, 60, 61

**E**

Elektrik ark ocağı · 4, 5  
Enfiltrasyon · 16, 64, 65  
Enerji denklığı · 65, 66, 67  
Epsilon · 65

**F**

Formüller · 14, 15, 16, 17, 18, 19,  
20

**G**

Giriş · 1

**H**

Harita · 2, 4  
Haddehane · 5, 6

**I**

Isıl verim · 20, 67

**K**

Kaynaklar · 71, 72, 73, 74  
KeyWords · iv, v

**L**

Literatür · 8

**M**

Materyal yöntem · 10

**O****Ö**

Özet · iv  
Özgeçmiş · 75  
Önceki çalışmalar · 8,9

**P****R**

Resim · 6  
Rekuperatör · 61, 62

**S**

Simgeler ve kısaltmalar · xvi  
Sonuç ve öneriler · 68, 69, 70

**Ş**

Şekil · 5, 10, 12, 22, 24, 25, 32,  
33, 40, 47, 48, 58, 59, 60, 67

**T**

Teşekkür · vi  
Tav fırını · 6, 7

**U****Y**

Yanma · 14, 15  
Yüzey ısı kaybı · 58



**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

