



# **HADDEHANE TAV FIRINININ 4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNA GÖRE ENERJİ ANALİZİ**

**Ali Fuat SERİER**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Harun ÇUĞ**

**HADDEHANE TAV FIRINININ 4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNA GÖRE  
ENERJİ ANALİZİ**

**Ali Fuat SERİER**

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

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Harun ÇUĞ**

**KARABÜK  
Mayıs 2022**

Ali Fuat SERİER tarafından hazırlanan “HADDEHANE TAV FIRINININ 4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNA GÖRE ENERJİ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/05/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ (KÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Ali Fuat SERİER

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **HADDEHANE TAV FIRINININ 4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNA GÖRE ENERJİ ANALİZİ**

**Ali Fuat SERİER**

**Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Harun ÇUĞ**

**Mayıs 2022, 54 sayfa**

Bu çalışmada, bir tav fırınının 4 farklı üretim durumuna göre analizi yapılmıştır. Üretim durumlarında bekleme kaynaklı kayıp miktarlarının hesaplanabilir değerlerden çok fazla olduğu ortaya konulmuştur. 4 farklı üretim durumunda en düşük fırın verimi %35,8, en yüksek %58,2 olarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar arasında ki fark, bizlere sürekli üretim ve farklı üretim koşullarının fırın verimine olan etkilerinin ne kadar önemli olduğunu göstermiş oldu.

Enerji analizi sonucun da yeni bir reküperatör tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım işletme şartları göz önünde bulundurularak eğimli olacak şekilde tasarlanmış olup, reküperatör üzerinden daha iyi hava akışı sağlanarak baca çekişini, ısı transfer miktarında artışı ve bakım sürelerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Yapılan bakım, üretim saatinin arttırılması ve yanma reaksiyonlarının kontrolü ile yıllık 635 ton  $CO_2$  salınımı önlenirken, 163.374 \$ kar sağlanmıştır. İdeal bir fırın da üretimin sürekli ve yanma reaksiyonlarının da kontrolü ile yıllık 4.676 Ton  $CO_2$  salınımı önleneceği, 1.302.803 \$ karlılık sağlanabileceği hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Sıcak haddeleme, Isıl verim, Sürekli üretim, Karbon salınımı, Maliyet analizi.

**Bilim Kodu** : 91408

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **ENERGY ANALYSIS OF ROLLING MILL ANNEALING FURNACE ACCORDING TO 4 DIFFERENT PRODUCTION CONDITIONS**

**Ali Fuat SERİER**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Harun ÇUĞ**

**May 2022, 54 pages**

In this study, an analysis of a annealing furnace was made according to 4 different production conditions. It has been revealed that the amount of loss due to waiting in production situations is much higher than the calculable values. In 4 different production conditions, the lowest furnace efficiency was calculated as 35.8% and the highest as 58.2%. The difference between the results showed us how important the effects of continuous production and different production conditions on furnace efficiency are.

As a result of the energy analysis, a new recuperator design was made. This design has been designed to be inclined considering the operating conditions, and it is planned to provide better air flow over the recuperator, increasing the chimney draft, increasing the amount of heat transfer and reducing the maintenance times.

With the maintenance, increasing the production hours and controlling the combustion reactions, 635 tons of  $CO_2$  emissions were prevented and a profit of \$ 163.374 was achieved. As an ideal furnace, it has been calculated that annual 4.676 tons of  $CO_2$  emissions can be prevented by controlling the continuous production and combustion reactions, and a profitability of \$1.302.803 can be achieved.

**Key Word** : Hot rolling, Thermal efficiency, Continuous Manufacturing, Carbon release, Cost analysis

**Science Code** : 91408



## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanması ve yrtlmesinde destek olan, bilgi ve tavsiyelerini paylaőan danıőman hocam Doç Dr. Harun UĞ'a ve çok eski yıllardan bugünlere kadar her daim bilgisini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Adem Fatih ÖZALP'e, sektörel ve akademik tecrübeleri ile yanımız da olan Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca iyi bir öğretmenin farkını anlayacak kadar iyi eğitimcilere, akademik anlamda her soruya cevap veren değerli akademisyen hocalarıma teşekkür ederim.

İş hayatının yorucu ve stresi altında çalıőmalarıma destek veren Türkiye'nin köklü sanayi kuruluşlarından olan SAKA Demir elik Şirketi ve Yöneticilerine, demir elik sektöründe çalışan bütün emektar iőçilerimize teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımızda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
MATERYAL VE YÖNTEM .....	6
BÖLÜM 3 .....	8
SICAK HADDELEME PROSESİ.....	8
3.1. TAV FIRINLARI .....	10
BÖLÜM 4 .....	12
TAV FIRINI ENERJİ ANALİZİ .....	12
4.1. YANMA REAKSİYONLARI .....	12
4.2. TUFAL OLUŞUMU .....	15
4.2.1. Ölçülen Tufal Kalınlığının Kütleli Hesaplanması Metodu .....	16
4.2.2. Duruş Sonrası Tufal Miktarı.....	19
4.2.3. Üretim Saatinin Artmasının Tufale Etkisi .....	20
4.2.4. Başlangıç ve Bitiş Tufal Kalınlığı .....	20
4.3. DURUŞ KAYNAKLI KAYIPLAR .....	20
4.4. ISI TRANSFER KAYIPLARI .....	22

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.4.1. İletim ile Isı Kaybı.....	23
4.4.2. Taşınım ile Isı Kaybı .....	24
4.4.3. Işınım ile Isı Kaybı .....	25
4.5. BACA KAYIPLARI .....	25
4.6. REKÜPERATÖR ETKİLERİ.....	27
4.6.1. Reküperatör Isı Kazanımı.....	28
4.6.2. Reküperatör Bakımı ve Etkileri.....	29
4.6.3. Reküperatör Tasarımı .....	31
BÖLÜM 5 .....	34
4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNUN FIRIN VERİMİNE ETKİLERİ .....	34
5.1. ÜRETİM DURUMU 1 .....	36
5.2. ÜRETİM DURUMU 2.....	37
5.3. ÜRETİM DURUMU 3 .....	39
5.4. ÜRETİM DURUMU 4.....	41
5.5. ENERJİ ANALİZ SONUÇLARI.....	42
BÖLÜM 6 .....	44
FIRIN VERİMİNİN ÇEVRESEL VE MALİ ETKİLERİ.....	44
6.1. ÜRETİM SAATİNİN ARTTIRILMASI.....	44
6.2. REKÜPERATÖR DEĞİŞİMİ.....	45
6.3. İDEAL FIRININ SÜREKLİ ÇALIŞMASI.....	46
BÖLÜM 7 .....	50
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	54

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dünya geneli birincil enerji tüketimi .....	2
Şekil 1.2. İEA 2021 CO2 emisyon tablosu .....	3
Şekil 1.3. 2035 yılına kadar öngörülen birincil enerji tüketimi ve dağılımı .....	3
Şekil 1.4. Türkiye’de sıvı çelik üretimi yapan firma ve il dağılımı .....	4
Şekil 3.1. Üzerinde farklı kalibreler bulunan merdane çifti .....	9
Şekil 3.2. Sıcak haddeleme mekanizmasının yan görünümü .....	9
Şekil 3.3. Tav fırını genel görünümü .....	10
Şekil 3.4. Tav fırını otomasyon sistemi SCADA ekran görünümü.....	11
Şekil 3.5. Analizi yapılan tav fırını teknik resmi. ....	11
Şekil 4.1. Analizi yapılan tav fırının emisyon sınır şartları ve analiz verileri. ....	13
Şekil 4.2. Tufal oluşum ve dönüşüm grafiği .....	15
Şekil 4.3. Kütük yüzeyinde oluşan tufal örnekleri .....	16
Şekil 4.4. Tufalleşme olan bölgelerin gösterimi. ....	16
Şekil 4.5. Farklı iki zamanda oluşan tufal katman örneği.....	19
Şekil 4.6. Isı transfer boruları hasar gören reküperatör.....	30
Şekil 4.7. Eğimli tasarlanan reküperatör .....	32
Şekil 4.8. İşletme şartlarına göre tasarımı yapılan reküperatör.....	33
Şekil 4.9. Tasarlanan hava akışının simülasyon görünümü. ....	33
Şekil 5.1. 1. Üretim durumunun Sankey diagramı.....	37
Şekil 5.2. 3. Üretim durumunun Sankey diagramı.....	40
Şekil 5.3. 4. Üretim durumunun Sankey diagramı.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. LNG moleküler içeriği.....	13
Çizelge 4.2. Kütük yüzeyinde oluşan tufalin hacmi. ....	17
Çizelge 4.3. Tufal numunelerinin özellikleri. ....	17
Çizelge 4.4. Tufal kaynaklı enerji kayıp miktarları. ....	19
Çizelge 4.5. Farklı üretim durumlarının bekleme kayıpları.....	22
Çizelge 4.6. Analizi yapılan tav fırınının yüzeyleri. ....	23
Çizelge 4.7. İletim ile kaybedilen enerji miktarı.....	24
Çizelge 4.8. Taşınım ile kaybedilen enerji miktarı. ....	24
Çizelge 4.9. Işınım ile kaybedilen enerji miktarı. ....	25
Çizelge 4.10. Farklı üretim koşullarında baca kaynaklı kayıp enerji miktarı. ....	27
Çizelge 4.11. Farklı üretim koşullarında reküperatörden kazanılan enerji miktarı....	29
Çizelge 5.1. 1. Üretim durumunun toplam enerji dengesi. ....	37
Çizelge 5.2. 2. Üretim durumunun toplam enerji dengesi. ....	38
Çizelge 5.3. 3. Üretim durumunun toplam enerji dengesi. ....	40
Çizelge 5.4. 4. Üretim durumunun toplam enerji dengesi. ....	41
Çizelge 5.5. Farklı üretim durumlarının verimleri. ....	42
Çizelge 6.1. Azaltılan CO <sub>2</sub> ve maliyet tablosu. ....	45
Çizelge 6.2. Reküperatör değişimi ile elde edilen sonuçlar. ....	46
Çizelge 6.3. İdeal fırından elde edilecek sonuçlar. ....	48
Çizelge 6.4. Yapılan iyileştirme çalışmalarının ve ideal üretim durumu sonuçları. ....	49

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

İEA : uluslararası enerji ajansı

$CO_2$  : karbondioksit

$CO$  : karbonmonoksit

ORC : organik rankine çevrimi

$O_2$  : oksijen

$CH_4$  : metan

$C_2H_6$  : etan

$C_3H_8$  : propan

$C_4H_{10}$  : bütan

$S$  : kükürt

$N_2$  : azot

$FeO$  : wüstit

$F_3O_4$  : manyetit

$F_2O_3$  : hematit

$C$  : karbon

kw : kilowatt

kg : kilogram

m : metre

LNG : sıvılaştırılmış doğalgaz

$Kcal$  : kilokalori

$\eta$  : verim

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

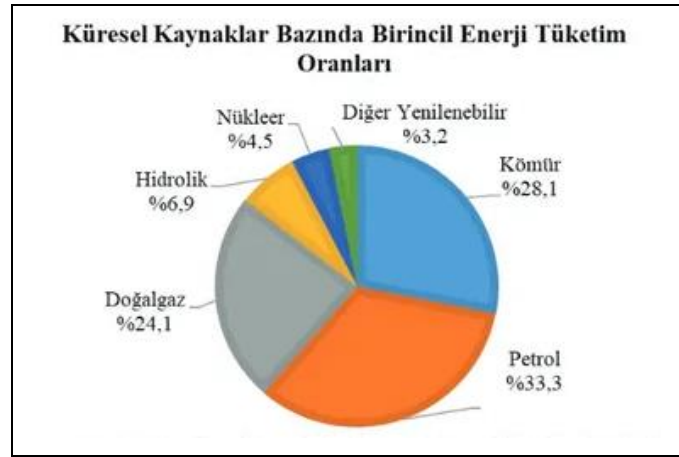
İnsanlık binlerce yıldan beridir çeşitli buluşlar sayesinde hep üzerine katarak bugünlere gelmiştir. Fakat sanayi devrimi ile birlikte gelişen teknoloji ile insanlık daha rahat ve refah bir yaşam sürmeye başlamıştır. Bu sayede insan popülasyonu dünya tarihinde hiç olmadığı kadar hızlı bir ivme ile gelişmiş oldu. Bu gelişmişlik insanlığın dünya üzerinde var olması için adeta dünya enerjisini emerek tüketmektedir. Her geçen gün gelişen sanayi ve enerji ihtiyacı çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başında küresel iklim değişikliği, ülkelerin enerjiye sahip olma istekleri, fosil yakıtların azalması, nükleer enerjiye yönelim gibi başlıklar bulunmaktadır. Dünyanın bu sorunlara karşı almış olduğu önlemler geçte olsa alınmaya başlanmıştır. Bu sorunların çözümüne yönelik ilk adım 1997 yılında Kyoto protokolünün imzalanmasıdır. Bu protokol sera gazı salınımının sınırlanması ve azaltılması yönünde çalışmalar yapmaktadır [1]. Bilimsel çevrelerin enerji üretim ekipmanlarını yeniden değerlendirerek verimliliğin artmasına ve sınırlı enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak için yeni teknolojik yöntemler geliştirmesine yönelmektedir [2] (Çengel,1996). Bu sayede artan üretim kapasitesinin daha verimli kullanımı gerçekleştirilmelidir.

Günümüzde artan enerji talebine karşılık fosil kaynaklardan elde edilmesi karbon salınımı arttırmaktadır. Bu artış bütün dünyayı gerekli tedbirler almaya yöneltmiştir. Bu tedbirlerin ilki olarak 1997 yılında Kyoto protokolü imzalanmıştır. Bu protokol kapsamında küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadele etmek amaçlanmıştır.

Dünya da sera gazı etkilerinin artması da sanayi kuruluşlarının etkisi büyüktür. Dünya da tüketimin artması üretim, sanayiye duyulan ihtiyacın ve her geçen gün sera gazı etkilerinin artmasına neden olmaktadır.

Sera gazı salınımı artması ile insanlık iklim değişikliği ile yüz yüze gelmektedir. İnsan nüfusunun büyük çoğunluğu yakın gelecekte iklim değişikliği yüzünden daha fazla etkiye maruz kalacaktır.

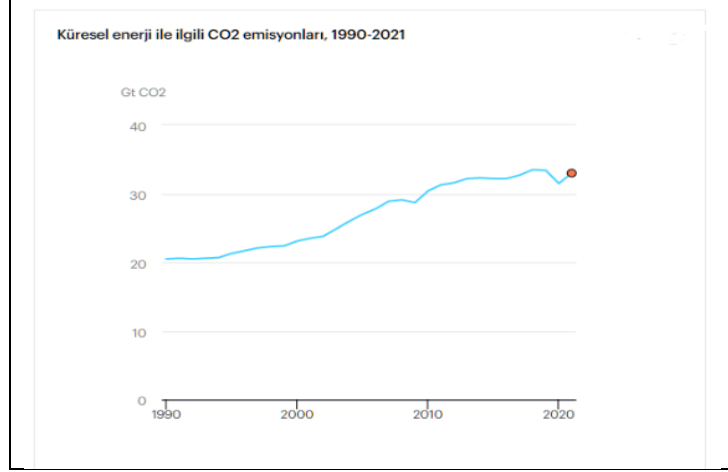
Enerji kullanımı, analizi ve iyileştirilmesi, sektör ve ölkemiz maliyetlerin düşmesine faydası olacaktır. Ölkemiz enerji tüketiminin % 70'den fazlasını ithal etmektedir. Bu da enerji kaynaklarında dışa bağlı olan ölkeler gibi enerji kaynaklarının ve enerji tüketiminin verimli kullanılması konusunda zorunluluk getirmektedir (Bayrak ve Esen, 2014) [3]. Bu sonuçlar çerçevesinde ölkemizin dışa bağımlılığını azalma durumu söz konusu olacaktır. Ayrıca enerji verimliliği sayesinde dünya genelinde sera etkilerinin azalması söz konusu olacaktır. Enerji verimliliği maliyet ve çevreci yaklaşımlar açısından önem arz etmektedir



şekil 1.1. Dünya geneli birincil enerji tüketimi [4].

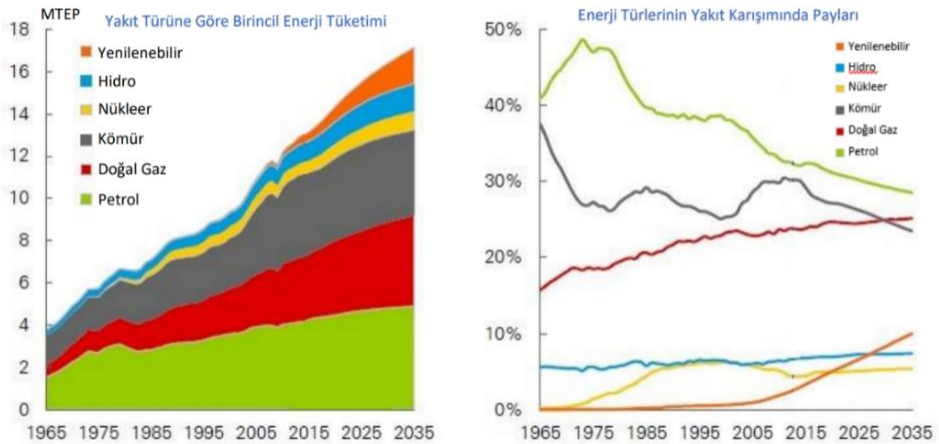
Ölkemiz de her geçen enerji tüketim miktarı artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına karşılık dünyada olduğu gibi ölkemizde karbon salınımı artmaktadır. Bunun sonuçları arasında ki en büyük sorunlardan olan iklim değişikliği kaçınılmaz hale geliyor [5] (Tütünoğlu vd., 2011).





Şekil 1.2. İEA 2021 CO<sub>2</sub> emisyon tablosu [6].

Artan enerji ihtiyacına göre alınabilecek önlemler arasında en önemli başlıklardan birisi olan enerjiyi verimli kullanma konusudur. Mevcut ihtiyaca en az maliyet ve en az karbon salınımı gerçekleştirmenin ilk temel şartı enerjinin verimli kullanılması başlığıdır. Enerji tüketiminde kayıplar analiz ederek en çevreci ve sürdürülebilir çözümler ortaya çıkması için enerji yasaları doğrultusunda önemli derecede önlemler alınabilir. Ülkemizde, sanayide %15, yerleşim yerlerinde %35 ve taşımacılık maliyetlerinde %15 enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyeller; yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edebilecek enerjiden daha yüksektir. Eğer enerji verimliliğine doğru, kararlı ve başarılı adımlar atılabilirse ülkemizdeki enerji talebi 2020 yılında %20 oranında (45 MTEP) azalacaktır [7] (Terzi and Baykal, 2011).



Şekil 5 Yakıt Türlerine Göre Birincil Enerji Tüketimleri ve Enerji Türlerinin Yakıt Karışımında Payları

Şekil 1.3. 2035 yılına kadar öngörülen birincil enerji tüketimi ve dağılımı [8].

## 1.2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerine bakılırken o ülkede bulunan sanayi kuruluşları önemli bir rol oynamaktadır. Sanayi kuruluşlarının fazlalığı ve üretken olması insan refah seviyesini arttırmaktadır. Sanayi sektörünün temel bileşeni olan demir çelik sektörü ise aynı paralelde gelişmişlik göstergesi olarak kabul edilebilir [9]. Demir çelik sektöründe üretilen ürünler inşaat sektörü ve sanayi sektörünün alt temellerinin oluşturan imalat sektörünün temel yapıtaşıdır [10]. Demir çelik sektöründe üretilen ürün olarak yarı mamul, işlenmiş mamul ve özel şekil profil olarak değerlendirme yapabiliriz. Ülkelerin üretim tonajlarından çok nihai ve vasıflı çelik üretimi sektörel büyüklüklerinin dikkate alınırken bu hususlarda değerlendirilmelidir.



Şekil 1.4. Türkiye’de sıvı çelik üretimi yapan firma ve il dağılımı [11].

Demir çelik sektörünün Türkiye’nin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %7,5, sanayi tüketimi içerisindeki payı ise %23 seviyelerindedir. Çelik sektörümüz de, enerjinin girdi maliyetlerinde payı, hammaddeden sonra 2. sırada yer almaktadır. Enerjinin girdi maliyetlerindeki payı %15-25 civarında yüksek bir orana sahiptir.

Enerjinin üretim maliyetleri içerisindeki payı, enerjinin çelik sektörü açısından nasıl bir öneme sahip olduğunu göstermeye yetmektedir [12] (TDDMM Raporu, 2016).

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada demir çelik sektörü için yüksek maliyet kalemi olan ürünlerin tavlanma durumları incelenmiştir. Tav fırınlarının verimini etkileyen faktörlerden maddeler halinde bahsedilmiş olup farklı üretim durumları için hesaplamalar yapılmıştır. Faal fabrika verileri ortaya konularak en yüksek verim değerine nasıl ulaşılacağı, kurulan enerji denklemleri sonucunda ortaya konulmuş oldu. Analizi yapılan tav fırının da yapılan iyileştirmeler ve ideal üretim metodunun çevresel ve mali açıdan değerlendirildi.

Worrel vd. (1999a) yapılan çalışmada ele alınan konu ABD enerji tasarrufu ve Co salınımının azaltılması olmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde yıllık enerji miktarının %18 tasarruf edilebilme potansiyeli vardır [13].

Manatura ve Tangtrakul (2010) yaptıkları çalışmada regülatör ile birleştirilmiş rejeneratif börnerlerin kullanıldığı bir tav fırınında enerji kullanımını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada tav fırınının özgül enerji tüketimi 1.042 MJ/t olarak bulunmuş ve fırın verimi %80,1 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada enerji tasarruf oranı sadece reküperatör kullanılan tav fırınları ile karşılaştırıldığında %43,4 olarak bulunmuş ve rejeneratif börner ile önemli bir verim değeri elde edilmiştir [14].

Çelik, Doğan vd. çalışmasında fırının iç atmosferinde meydana gelen yanma sonucunda oluşan gazların emişinin arttırılması ile verimi arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca yakma havasında ki basınç artışının sistem verimine olumlu etkilerinden bahsedilmiştir. Atık ısının rankine çevrimi ve tesis içerisinde ısınma ihtiyacını karşılayabileceği sistemler geliştirilebilir [15].

Kılınç vd. Kardemir A.Ş.'e ait haddehane I ve haddehane II bölümlerindeki endüstriyel tav fırınlarının enerji dengesi ve enerji verimliliği konusunda hesaplamalar yapmışlardır. Endüstriyel tav fırınında yapılan hesaplamalarda, haddehane I'e ait tav fırınının verimi %61,83, haddehane II tav fırınına ait verimi ise %60,86 olarak bulmuşlardır. Tav fırınlarının enerji verimlerini arttırmak için meydana gelen kayıplar incelenerek enerji tasarrufu konusunda iyileştirme yapılabilecek yerler belirlenmiştir. Tav fırınlarında yapılabilecek iyileştirmeler sonucunda haddehane I tav fırınına ait enerji veriminin %76,80'e, haddehane II tav fırınına ait enerji veriminin ise %77,20'ye kadar çıkarılabileceği hesaplanmıştır [16].

Kurbaoğlu vd. 2017 yılında yaptığı çalışmada endüstriyel tav fırınlarında baca atık ısısının ORC sistemi ile tasarımı yapılarak termodinamik analizi yapılmıştır. Tasarlanan sistemin 5-6 yıl gibi bir süre içerisinde maliyet olarak karşılamaktadır. 3000 ton  $CO_2$  salınımını engelleyeceği ortaya konulmuştur [17].

Yıldırım vd. yaptığı çalışmada İskenderun bölgesinde faaliyet gösteren tav fırınının ısı kayıplarını incelemiş ve enerji denkliği kurularak analizler yapılmıştır. Doğalgazın yanma sıcaklığının enerji denkliğinde %91,63'ü oluşturduğu, yakma havasının ısı enerjisinin %6,94 olduğunu hesaplamıştır. Ayrıca ısı kayıplarının nerelerde ne oranda olduğu belirtilmiştir. Çalışmış olduğu ısı fırının verimini %60,12 olarak bulmuştur [18].

Çakıroğlu vd. yaptığı çalışmada tav fırınlarının kütük yüzeyinde oksitleyici etkilerinin en alt seviyede tutulması için fırın atmosferini ve bekleme sürelerinin etkilerine değinilmiştir. Doğalgaz ile çalışan fırınların çelik yüzeyi oksidasyonu oluşumu açısından fuel-oil fırınlara göre daha az olduğu anlaşılmıştır. Düşük karbonlu çeliklerin yüksek karbonlu çeliklere oranla daha fazla oksitlendiği anlaşılmıştır [19].

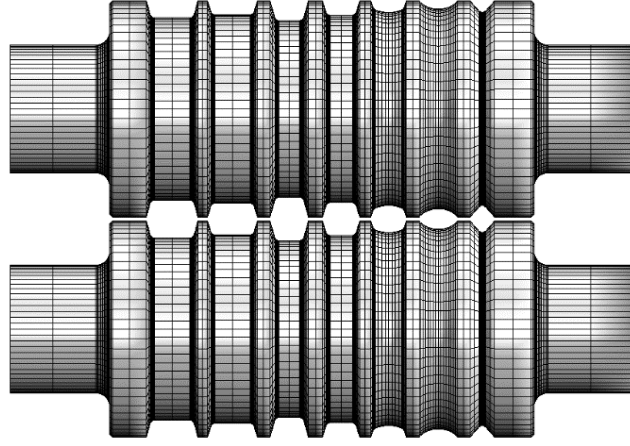
## BÖLÜM 3

### SICAK HADDELEME PROSESİ

Haddeleme, malzemelerin dönerek baskı uygulayan merdanelerin arasından geçirilerek istenilen kesitin elde edilme işlemidir. Yüksek oranlarda şekil değişimi için sıcak haddeleme, düşük oranda kesit daralması, kalite ve tolerans bakımından ihtiyaç duyulması halinde soğuk haddeleme yapılmaktadır.

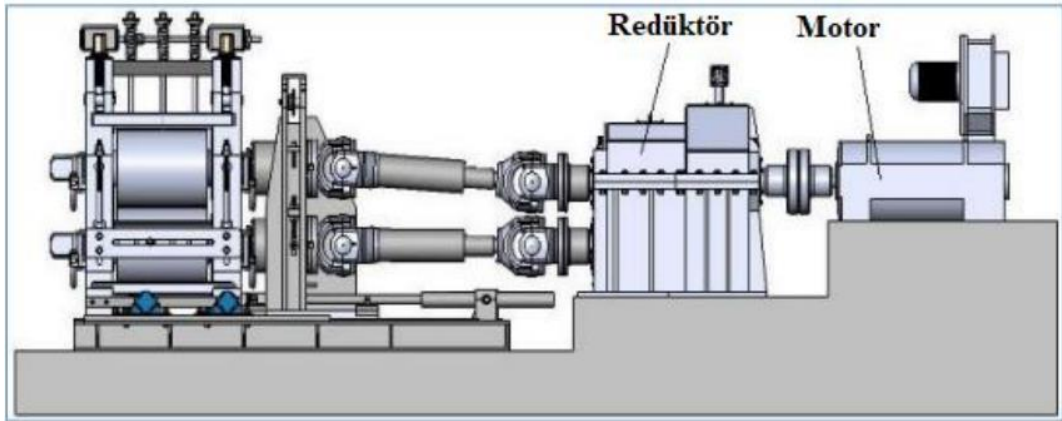
Sıcak haddeleme seri üretim sayesinde ucuz ve istenilen şeklin elde edilmesi hususunda en yaygın plastik şekil verme yöntemidir. Çelikhaneler de döküm işlemi yapılmış olan kare kesitli ürünü kütük, dikdörtgen kesitli sac ve levha üretiminde kullanılan ürün slab olarak adlandırılmaktadır. Ülkemizde üretilen ve işlenen ebatlar eski yıllara nazaran gelişen teknoloji sayesinde büyümüştür. Üretim planlaması dahilinde hadde kapasitesi göz önünde bulundurularak yarı mamuller ortalama 1100 °C'de üniform olarak tavllanır. Ürünler kalibrelerden geçerek istenilen ürün ve şekil elde edilmiş olur.

Yüksek mukavemetli olan merdane çiftleri üzerinde ürünün istenilen şekli alması için tornalama işlemi yapılır. Yapılan işlem kalibre açma işlemi olarak adlandırılır. Hadde tav fırın da tavlanan ürünler merdane çiftlerinden önceden hesapları yapılan kalibrelerden geçerek şekil ve ebat değişimine belirli oranda uğrayarak nihai ürün elde edilir.



Şekil 3.1. Üzerinde farklı kalibreler bulunan merdane çifti.

Kalibrelerden geçen ürün için gerekli kuvvet elektrik motorundan aldığı devri ihtiyaç dahilinde volanlı ya da volansız olarak dişli kutusuna aktarmaktadır. Elde edilen döndürme momenti değeri iki ya da üçe bölünerek merdanelere aktarılır. Aktarılan güç sayesinde çeliğe şekil vermek için gerekli kuvvet sağlanmış olur. Yapılacak olan haddeleme işleminin kuvveti için motor gücü, mil ve yataklara binen kuvvet, dişli dibi emniyet katsayısı, devir sayıları, malzeme seçimi gibi unsurlar göz önünde bulundurulur.



Şekil 3.2. Sıcak haddeleme mekanizmasının yan görünümü [20].

Kalibrelerde verilecek olan şekil ve ebat daralması çelik malzemenin şekil değiştirme kabiliyetleri göz önünde bulundurularak belirli oranlarda ince hesaplamalar ile yapılır. Üretilen ürün de ne kadar daralma ve şekil değişimi olarsa o kadar merdane

kalibresinden geçmesi gereklidir. Her kalibreden ürünün geçerek kuvvete maruz kalması durumu 1 paso olarak adlandırılmaktadır.

### 3.1. TAV FIRINLARI

Tav fırınlarının endüstri de çok farklı kullanım alanları mevcuttur. Cam, seramik, tuğla, demir çelik gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Tav fırınları işlem yapılacak olan hammaddenin uygun sıcaklıklara kadar farklı yakıtlar ve yöntemler kullanılarak malzeme ısısının yükseltilmesi işlemidir.

Demir çelik sektöründe kullanılan tav fırınları besleme şekline göre itmeli, yürüyen tabanlı ve yürüyen kirişli olarak sınıflandırılabilir. Fırınların besleme şeklinin farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. İtmeli tip fırınlarda kütükler yapışık halde tavlandığı için ısı transferi kütüğün yüzeyinden tabana olacak şekilde yayıldığı için fırın atmosferinde ki ısının açıklık ve baca kayıplardan daha fazla çıkmasına neden olmaktadır. Buna karşın kütükler birbiri ile temas halinde olduğu için fırın atmosferinde bunun  $O_2$  ile temas yüzeyi azaldığı için tufal miktarı diğer tip fırınlara göre daha az olmaktadır. Analizi yapılan fırın itmeli tip bir fırındır.



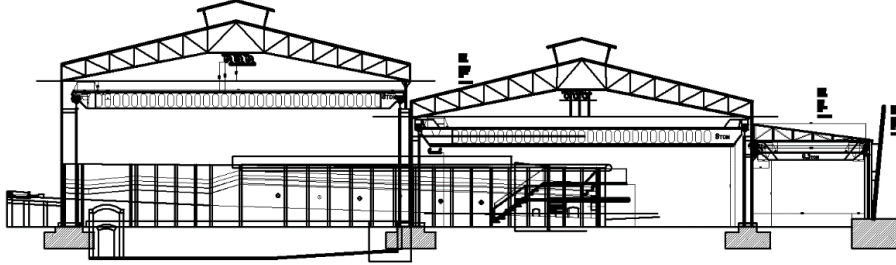
Şekil 3.3. Tav fırını genel görünümü [21].





Şekil 3.4. Tav fırını otomasyon sistemi SCADA ekran görünümü.

Tav fırınların da yanma reaksiyonları denetlenmesi ve kontrolü sağlanması için otomasyon sistemlerin kullanımı oldukça yaygındır. Kullanılan otomasyon sistemi insan hatasını en aza indirirken enerji verimliliğinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3.5. Analizi yapılan tav fırını teknik resmi.

Analizi yapılan tav fırını 30 metreden daha uzun olup 16 adet brülör ile çelik kütükleri tavlama işlemi gerçekleştirmektedir.

## BÖLÜM 4

### TAV FIRINI ENERJİ ANALİZİ

Bu bölümde kurulan enerji dengelerinin sonuçları ve denklemlerin oluşumundan bahsedilmiştir. Farklı üretim durumlarının verime olan etkileri hesaplanarak ideal üretim durumu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan ölçümler sonucunda tufal kayıpları da azaltılmıştır.

Tav fırınları enerji analizinin yapılması, kayıpların analiz edilerek yapılacak iyileştirmelerin daha kesin olarak yapılmasına olanak sağlayacaktır. Yapılan ölçümler sonucunda değerlendirme ve hesaplamalar yapılırken değerlerin doğruluğu kıyas edilerek daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Analiz edilen fırınların hangi bakış açısı analiz edildiği önem arz etmektedir. Zira bekleme süresi, üretim kapasitesi, fırın ısı gücü, ısı kayıpları, baca kayıpları açıklık kayıpları gibi etmenler farklı değerlerin ve sonuçların çıkmasına neden olacaktır. Bu farklı sonuçların ışığında fırın veriminin en üst düzeyde tutulması için ideal üretim durumu belirlenmiştir.

#### 4.1. YANMA REAKSİYONLARI

Tavlama işleminin verimli ve homojen olması yanma reaksiyonlarıyla doğrudan alakalıdır. Uygun hava yakıt oranı ve fırın atmosferi ısının, kütüğe daha iyi nüfuz etmesini sağlar. Demir çelik sektöründe kullanılan tav fırınlarında fuel-oil ya da LNG yakıt olarak tercih edilmektedir. Günümüzde maliyet ve çevreci yaklaşım sergilemesinden dolayı LNG'li fırınlar çoğunluğu oluşturmaktadır.

Yanma reaksiyonlarının verime etkilerinin yanı sıra çevresel etkileri de bulunmaktadır. Bu yüzden tav fırınlarının bulunduğu işletmeler ilgili bakanlık tarafından düzenli periyotlar halinde baca gazı ölçüm ve kontrolleri yapılmaktadır.

Tesiste Gerçekleştirilen Emisyon Ölçüm Sonuçları ve SKHKK Yönetmeliği Sınır Değerleri											
Emisyon Kaynağı Adı / Kod	SKHKKY (Yer Aldığı Grup)	Parametre (mg/Nm <sup>3</sup> )									
		CO		NO		NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		Toz/fallilik	
		Ort.	S.D.	Ort.	S.D.	Ort.	S.D.	Ort.	S.D.	Ort.	S.D.
K1	EK-5.F.4	0,00	-	145,09	-	222,47	-	0,00	100	1,41	50
										1	-

Tesiste Gerçekleşen Emisyonların Kütesel Debileri ve SKHKKY Sınır Değerleri						
Baca Kodu	Parametrelere Ait Kütesel Debi Değerleri (kg/saat)					Tesiste Sürekli Ölçülen Parametreler
	Toz	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	
K1	0,02944	0,00	0,00	3,02898	4,64444	-
Toplam Değer	0,02944	0,00	0,00	3,02898	4,64444	
İlgili Sınır Değerler						
SKHKKY Ek-2 Bacadan	10	500	60	-	40	
SKHKKY Ek-3	-	5	60	20	-	

Şekil 4.1. Analizi yapılan tav fırının emisyon sınır şartları ve analiz verileri.

Şekil 4.1’de yanma reaksiyonlarının çevresel etkilerini ölçmek için ilgili bakanlık tarafından görevlendirilen akredite kurumlar tarafından, sanayi kaynaklı hava kirliliği kontrolü yönetmeliği (SKHKK) kuralları çerçevesinde ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerde sera gazı etkisi yüksek olan CO salınımını ppm’de 0 olması gereklidir.

Analizi yapılan tav fırınında yakıt olarak LNG kullanılmaktadır. LNG’nin içerik tablosu çizelge 4.1’de görülmektedir.

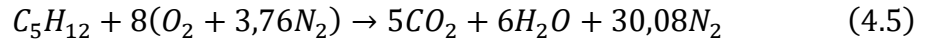
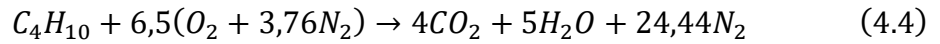
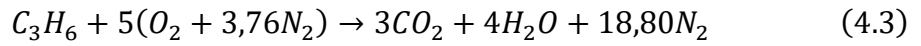
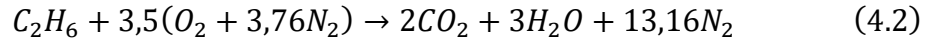
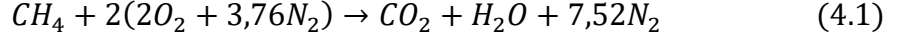
Çizelge 4.1. LNG moleküler içeriği.

Bileşen	Sembolü	M(kg/kmol)	%Dağılımı
Metan	CH <sub>4</sub>	16.043	%94,53
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	%2,73
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	%0,88
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	52.121	%0,31
Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.148	%0,07
Kükürt	S	32.064	%0,00
Oksijen	O <sub>2</sub>	31.999	%0,00
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	44.009	%0,26
Azot	N <sub>2</sub>	28.013	%1,22
Toplam		104.60	100%

Çizelge 4.1’de LNG’nin moleküler dağılımı gösterilmiştir. Kullanılan yakıt içerisinde ki moleküllerin dağılımı oldukça önemlidir. Karbon bazlı yapılara sahip olan fosil

yakıtlar, oksijen atomu ile uygun oranlarda tepkiye girmesi gereklidir. Bu sayede en yüksek yanma verimi elde edilebilir.

LNG’de tam yanmanın gerçekleştiği denklemler;



Hava da %21 oranında  $O_2$  bulunduğuna göre;

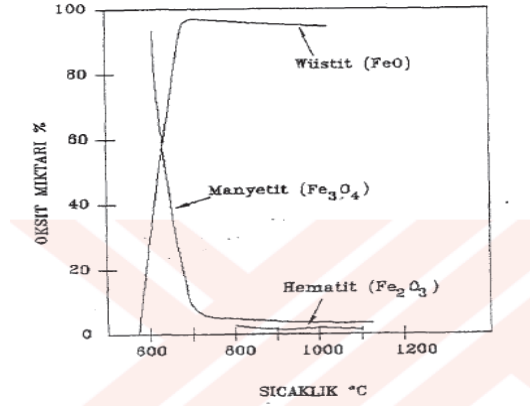
$$\text{Teorik yakma havası} = \frac{100}{21} (2,056) = 9,789 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

Analizi yapılan tav fırını için yakma havası miktarını fırın yapısına göre farklılık gösterebilir. Tepkime için gerekli olan  $O_2$  miktarı yeterince sağlanamazsa yanma için gerekli tepkime iyi şekilde oluşmaz. Bu da fırının enerji ve üretim veriminin düşmesine neden olmaktadır. Yakma havasının ve ısı kontrolü farklı otomasyon sistemleri ile takibi ve yönlendirilmesi yapılmaktadır.

Özetle yanma reaksiyonları fırın verimini ve kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Enerji sarfiyatı, üretim kapasitesi, tufal miktarı, CO salınımı gibi işletmeler açısından önem arz eden konuların başında gelmektedir.

## 4.2. TUFAL OLUŞUMU

Yanma havasının içinde bulunan  $O_2$  molekülleri ile tavlanan kütüklerin yüzeyinin tepkimeye girmesi ile çelik kütük yüzeyinde wüstit ( $FeO$ ) oluşmaktadır. Oluşan tabaka bileşimleri wüstit'e ek olarak farklı zaman, sıcaklık ve ortama göre manyetit ( $Fe_3O_4$ ), hematit ( $Fe_2O_3$ ) oluşturabilirler. Yanma reaksiyonları sonucunda oluşan kimyasal tabakaya endüstride tufal olarak adlandırılmaktadır



Şekil 4.2. Tufal oluşum ve dönüşüm grafiği [22].

Sıcaklık ile oluşan kimyasal bileşiklerin grafiği çıkartılmıştır. Sıcaklık 600 – 700 °C seviyelerinde manyetit en üst seviyede, sıcaklık artması ile wüstit seviyesi artmıştır. Ayrıca sıcaklığın 1100°C'ye çıktığı sürede tufal oluşum hızı en üst seviyede olmaktadır. Bu sıcaklıklardan sonra yüzeyde oluşan tufal kimyasal yapısı sebebi ile izolasyon tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka kütük yüzeyinde oluşması ile tufalleşme hızının da yavaşlamaya neden olmaktadır [22].

Yanma reaksiyonları tufal oluşumunda da önem arz etmektedir. Fırın atmosferinde bulunan fazla havanın kütük yüzeyi ile teması girmesi tufal oluşumunu arttırmaktadır. Yanma reaksiyonlarında hava-gaz oranının iyi ayarlanması uygun ortam sağlamaya yarar.

Analizi yapılan tav fırınının da 1117 adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler üretim saati içerisinde, her saat başı yapılmıştır.

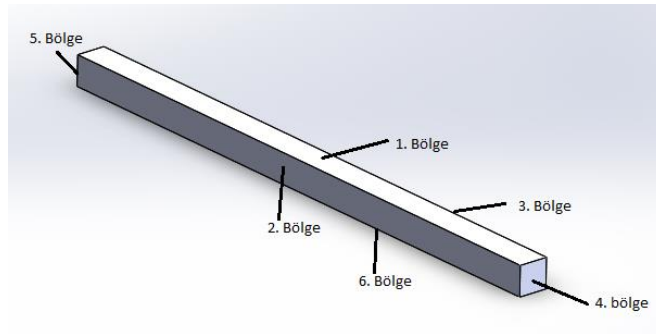


Şekil 4.3. Kütük yüzeyinde oluşan tufal örnekleri.

#### 4.2.1. Ölçülen Tufal Kalınlığının Kütleli Hesaplanması Metodu

Bu bölümde demir çelik fabrikaları için hesaplanamayan, genellikle ortalama değerlerden yola çıkarak hesaplanan tufal oranlarının gerçek veriler ışığında, yapılan ölçüm ve deneyler sonucunda ortaya konulmuştur. Bu sayede tufal miktarının analizin de daha kesin sonuçlar elde edileceği için fırın verimi, çevresel ve mali etkileri daha gerçekçi sonuçlar ile ortaya konulması amaçlanmıştır.

Yapılan hesaplama da 3 metrelik 150X150 mm ebatlı ve 1.bölge tufal kalınlığı 1,5 mm olarak, tav fırını ittirmeli şekilde hareket eden bir fırın olduğu için 2 ve 3. bölge de tufal miktarı 1. bölgeden daha az oluşacaktır ve bu değeri 0,75 mm olarak, 4. ve 5. bölge ise kütüklerin yüzey kesitleri hava ile temas halinde olduğu için tufal kalınlığı 1,5 mm olarak, 6. bölge olan taban alanı ise hava ile temas etmediği için tufal kalınlığı 0 mm olarak kabul edilirse;



Şekil 4.4. Tufalleşme olan bölgelerin gösterimi.

Bu yüzeyler de oluşan tufal miktarlarını hacim hesabı şeklinde hesaplayalım;

1. Bölge hacmi;

$$= \text{Kütüğü uzunluğu}(mm) \times \text{Kütüğün Yüksekliği}(mm) \times \text{Tufal kalınlığı}(mm) \quad (4.7)$$

$$= 3000(mm) \times 150(mm) \times 1,5(mm) \\ = 675.000 \text{ mm}^3 \quad (4.8)$$

Diğer bölgeler içinde aynı yöntem ile hesaplama sonuçları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kütük yüzeyinde oluşan tufalin hacmi.

	<b>Tufal Hacmi</b>
1. Bölge	675.000 $mm^3$
2. Bölge	337.500 $mm^3$
3. Bölge	337.500 $mm^3$
4. Bölge	33.750 $mm^3$
5. Bölge	33.750 $mm^3$
6. Bölge	0 $mm^3$
	<b>Toplam=1.417.500 <math>mm^3</math></b>

Hesaplanan tufal hacminin kilogram şeklinde yazılması için 3 adet farklı yapı da ki numunelerin hacimleri ölçüldü ve hassas tartı da tartıldı.

Çizelge 4.3. Tufal numunelerinin özellikleri.

	Hacim ( $mm^3$ )	Ağırlık (g)
1. Numune	503 $mm^3$	1,57 g
2. Numune	325 $mm^3$	1,15 g
3. Numune	135 $mm^3$	1,67 g

Ölçülen bu numunelerin ortalaması oranlanarak  $1000 \text{ mm}^3$  tufal ağırlığı 4,48 g olarak hesaplanmıştır. Bulmuş olduğumuz tufal yüzey alanı ile bu değeri oranlayarak tufal kaybının ağırlığını hesaplayalım;

$$1000 \text{ mm}^3 \rightarrow 4,48 \text{ g}$$

$$1.417.500 \text{ mm}^3 \rightarrow x \text{ g}$$

---

Yüzeyde oluşan tufal miktarı 6,35 kg tekabül etmektedir. 3 metre boyunda 150X150 mm ebatın da kütüğün ağırlığı ise 529 kg'dir. Tufal kayıp miktarı ise;

$$Tufal oranı = \frac{Tufal Kaybı (kg)}{Kütük Ağırlığı (kg)} \times 100 \quad (4.9)$$

$$Tufal oranı = \frac{6,35 (kg)}{529 (kg)} \times 100 \quad (4.10)$$

$$Tufal oranı = \%1,2 \quad (4.11)$$

Bu değere oksijen ile kütüklerin kesimi ve testere de nihai ürünlerin kesiminden çıkan çapak miktarlarını işletme şartına göre %0,3 kabul ettiğimizde, %1,5 olarak hesaplanmaktadır. Tufal kalınlığı hesaplanırken işletme şartlarına göre farklılıklar gösterebilir. Bu hesaplama yöntemi ile analizi yapılan tav fırının da tufal kalınlığı ile %'lik tufal kayıp miktarı analiz edilebil hale getirilmiştir.

Analizi yapılan tav fırının da farklı üretim durumların da %1,31 tufal kayıp miktarı olarak kabul edildiğinde oluşan çelik ve enerji kaybı çizelge 4.4'te verilmiştir.



Çizelge 4.4. Tufal kaynaklı enerji kayıp miktarları.

Üretim Durumlarının Tufal Kaybı Enerji Tablosu		
	Süre (Saat)	Q (Kcal)
1. Üretim Durumu	340,6 kg	103.791
2. Üretim Durumu	275,1 kg	121.487
3. Üretim Durumu	131 kg	64.920
4. Üretim Durumu	416,58 kg	174.339

#### 4.2.2. Duruş Sonrası Tufal Miktarı

Hadde üretim esnasında yemek, ürün ebat ayarı, bakım gibi nedenlerden ötürü duruşlar gerçekleşmektedir. Ölçümlerde, duruşlardan sonra tufal miktarında %34 oranında artış olmuştur. Bu artış bütün duruşlarda gerçekleşmemiştir. Artış olan duruşlarda tufal miktarının artma nedeni, kütüklerin tavlı olmasından dolayı ocak börnerlerinin kapalı durumda kalmasıdır. Börnerler kapalı olsa dahi fırın içerisine giren  $O_2$  kütük yüzeyi tepkimeye girerek tufal miktarını arttırmıştır.



Şekil 4.5. Farklı iki zamanda oluşan tufal katman örneği.

#### **4.2.3. Üretim Saatinin Artmasının Tufale Etkisi**

Yapılan 1117 adet ölçümde 8 saatlik üretim olduğunda tufal kalınlığı ortalaması 1,48 mm'dir. Üretim saati 16 saat olduğu günlerde bu ortalama değer 1,31 mm'ye düşmektedir. Analizi yapılan fırında sadece üretim saatinin arttırılması ile üretim kapasitesi ile orantı kurularak aylık 11 ton tufal oluşumunu önlenmiş oldu. Yapılan bu girişim çevreye ve işletmeye etkileri bölüm 6'da değerlendirilmiştir.

#### **4.2.4. Başlangıç ve Bitiş Tufal Kalınlığı**

Yapılan ölçülerde üretimin başlangıç ve bitiş saatleri göz önüne alındığında başlangıç saatinde ki tufal kalınlığı ortalaması 2,5 mm, bitiş saatinde ki tufal kalınlığı 0,59 mm'dir. İdeal bir fırın sürekli şekilde çalışarak tufal kalınlığı miktarını 0,59 mm'ye düşürebilir. Bu durum bizlere sürekli çalışan tav fırınının sadece üretim saatini arttırarak tufalden elde edilebilecek kazanımı göstermektedir.

### **4.3. DURUŞ KAYNAKLI KAYIPLAR**

Tav fırınları üretim bitmesiyle ısı verme işlemi kesilir ve fırın beklemeye alınır. Beklemeye alınan fırın, kapakları kapatılsa dahi çevreye ısı yaymaya devam eder. Bu neticede fırın ısısı bekleme saati ile orantılı olarak kademeli şekilde düşer. Üretim başlamadan önce soğuyan fırın ve içerisinde ki kütüklerin uygun sıcaklığa getirilmesi gereklidir. Bunun için üretimden birkaç saat önce brülörler ateşlenerek uygun üretim sıcaklığına getirilir.

Analizi yapılan tav fırının da pazar günü gecesi 01:00'da üretimin bitmesiyle kapatılan fırın, pazartesi sabahı 09:00'da üretime başlamıştır. Bekleme kaybının hesaplanması için pazar günü 01:00'da ki son sayaç değeri ile pazartesi işbaşı saatinde ki sayaç değerleri arasında ki farklar okunarak harcanan doğalgaz miktarı elde edilmiştir. 32 saatlik bekleme süresince soğuyan fırının tekrar uygun sıcaklığa getirilmesi için 2735 m<sup>3</sup> LNG harcanmıştır. 1 Sm<sup>3</sup> LNG enerji miktarı 9155 Kcal'dir [20].

$$2735 m^3 \times 9155 Kcal = 25.038.925 Kcal \quad (4.12)$$

Hesaplanan bekleme kaybı değerini 32 saatlik bekleme süresine böldüğümüz de saatlik bekleme kaybı şu şekilde olur;

$$\frac{25.038.925 Kcal}{32 Saat} = 781.466 \frac{Kcal}{Saat} \quad (4.13)$$

Elde edilene bu değer saatlik bekleme kaybı değerini vermiştir. Bu değer 4 farklı üretim koşulunun kurulan enerji denklemin de referans olarak kullanılacaktır. Farklı üretim koşullarında bekleme saatleri göz önünde bulundurularak orantılı şekilde hesaplama işlemi yapalım.

Aylık üretim durumunun bekleme kaybının hesaplaması;

Bu üretim durumunda 30 günlük enerji tüketim ve çelik tavlama değerleri kıyas edilerek enerji denklemleri kurulmuştur. Bu ay içerisinde 370 saatlik duruş ve 350 saatlik çalışma yapılmıştır. Referans değer olarak kabul ettiğimiz saatlik kayıp enerji miktarı olan 781.466 Kcal değerini aylık duruş saati ile çarparak aylık duruştan kaynaklanan kayıp enerji miktarını elde edelim;

$$781.466 Kcal \times 370 Saat = 289.300.780 KcalSaat \quad (4.14)$$

Bulunan bu enerji değerinin aylık üretim saatine bölerek 1 saatlik üretimde beklemeden kaynaklanan enerji miktarına ulaşalım;

$$289.300.780 Kcal \cdot \frac{Saat}{350 Saat} = 826.573 Kcal \quad (4.15)$$

İzlenen bu yol diğer günlük üretim 1 ve 2'de de uygulanmıştır. Bu iki üretim durumunda 8 saat duruş 16 saat çalışma olmuştur.

Üretim sürekli değerlendirilerek kurulan enerji dengesinde, saatlik sayaç değerleri okunduğu ve sürekli çalışan bir fırın olduğu için bekleme kaynaklı kayıp olmamıştır.

Bu üretim durumunun enerji dengesi sayesinde bekleme kayıplarının verime olan etkilerini ortaya koymuş olacağız. Farklı koşulların bekleme kaynaklı kayıp enerji değerleri şu şekildedir;

Çizelge 4.5. Farklı üretim durumlarının bekleme kayıpları.

<b>Fırının Bekleme Yaptığı Saatlerde ki Enerji Kayıpları</b>			
	<b>Çalışma Süresi (Saat)</b>	<b>Bekleme Süresi (Saat)</b>	<b>Bekleme Enerji Kaybı (Kcal)</b>
1. Üretim durumu	1 (Saatlik)	-	0
2. Üretim durumu	350 (Aylık)	370 (Aylık)	826.573
3. Üretim durumu	16 (Günlük)	8 (Günlük)	390.947
4. Üretim durumu	16 (Günlük)	8 (Günlük)	390.947

#### **4.4. ISI TRANSFER KAYIPLARI**

Tav fırınlarının iç sıcaklıkları çok yüksek olduğu için ısı transferi ile gerçekleşen ısı kayıplarına dikkat edilmezse yüksek seviyelere çıkabilir. Analizi yapılan tav fırının da ısı transferi ile meydana gelen kayıplar göz önünde bulundurularak enerji denklemleri kurulmuştur.

Isı üç farklı yol ile aktarılabilir. Bunlar iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon), ve ışıyım (radyasyon)'dur. Isı transferinin gerçekleşebilmesi için sıcaklık farkının olması gereklidir. Isı her daim yüksekten düşüğe geçme eğilimindedir.

Analizi yapılan tav fırını 30 m uzunluğunda, 4,4 m genişliğinde ve yüksekliği 1,5 m'dir. Refrakter tuğla kalınlıkları yan yüzeyde 0,5 m, tavanda 0,23 m ve tabanda 0,6 m'dir.

Çizelge 4.6. Analizi yapılan tav fırınının yüzeyleri.

Isı Transferi Gerçekleşen Yüzey Alanları
1- Taban = 108 m <sup>2</sup>
2- Yan Duvar 1 = 36 m <sup>2</sup>
3- Yan Duvar 2 = 36 m <sup>2</sup>
4- Yükleme Bölgesi = 4,8 m <sup>2</sup>
5- Yükleme Bölg. Karşı Duvar = 6,5 m <sup>2</sup>
6- Tavan = 138 m <sup>2</sup>
7- Şarj Bölgesi Açık Alan = 1,7 m <sup>2</sup>
8- Kütük Çıkış Kapakları = 3 m <sup>2</sup>

Bu değerler ile yüzey ve açıklık kaynaklı ısı değerleri ölçülmüştür. Fırınımızda 4 adet bölgeye ayrılmıştır. Bu ayrılan bölgelerin yapılan ölçümler sonucunda ortalama sıcaklık değerleri 1050 °C'dir. Fırın yüzeyin de yapılan sıcaklık ölçümleri neticesinde ortalama değer olarak 80 °C ölçülmüştür. Fırın kapalı bir tesiste olduğu göz önünde bulundurularak ortam sıcaklığı 25°C olarak kabul edilmiştir.

#### 4.4.1. İletim ile Isı Kaybı

İletim, parçacıklar arası etkileşimlerin sonucu olarak bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan bitişiklerinde ki daha düşük enerjili alanlara enerji aktarılmasıdır. Gazlarda ve sıvılarda iletim geliştiği güzel olurken, katılarda moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur.

( $k \rightarrow$  ısı iletkenlik katsayısı  $1,8 \frac{W}{m \times ^\circ C}$ )

( $A \rightarrow$  Temasın gerçekleştiği yüzey alanı  $m^2$ )

( $\Delta t \rightarrow$  İki ortam arasındaki sıcaklık farkı)

( $\Delta x \rightarrow$  Duvar kalınlığı m)

$$Q_{iletim} = k \times A \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (4.16)$$

Çizelge 4.7. İletim ile kaybedilen enerji miktarı.

<b>İletim ile Gerçekleşen Enerji Miktarı</b>
1- Taban = 315 kW
2- Yan Duvar 1 = 125 kW
3- Yan Duvar 2 = 125 kW
4- Yükleme Bölgesi = 17 kw
5- Yükleme Bölg. Karşı Duvar = 22 kW
6- Tavan = 800 kW
<b>Toplam = 1404 kW</b>

#### 4.4.2. Taşınım ile Isı Kaybı

Taşınım bir katı yüzey ile ona bitişik sıvı veya gaz arasında ki enerji aktarım türüdür.

( $h$  → Isı taşınım katsayısı  $10 \frac{W}{m^2 \times ^\circ C}$  )

( $A$  → Temasın gerçekleştiği yüzey alanı  $m^2$ )

( $T_2$  → Yüksek ortamın sıcaklık değeri  $^\circ C$  )

( $T_\infty$  → Ortam sıcaklığı  $^\circ C$  )

$$Q_{\text{taşınım}} = h \times A \times (T_2 - T_\infty) \quad (4.17)$$

Çizelge 4.8. Taşınım ile kaybedilen enerji miktarı.

<b>Taşınım ile Gerçekleşen Enerji Miktarı</b>
1- Taban = 0 kW
2- Yan Duvar 1 = 19,8 kW
3- Yan Duvar 2 = 19,8 kW
4- Yükleme Bölgesi = 2,6 kW
5- Yükleme Bölg. Karşı Duvar = 3,5 kW
6- Tavan = 75,9 kW
<b>Toplam = 121 kW</b>

#### 4.4.3. Işınım ile Isı Kaybı

Atom ve moleküllerin elektronik düzeylerinde ki değişmelerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir.

( $\sigma$  → Sabit değer  $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \times K^4}$ ), ( $\epsilon$  → Yayıma oranı 0,8)

( $A$  → Temasin gerçekleştiği yüzey alanı  $m^2$ )

( $T_2$  → Yüksek ortamın sıcaklık değeri  $^{\circ}C$ ), ( $T_{\infty}$  → Ortam sıcaklığı  $^{\circ}C$ )

$$Q_{ışınım} = \epsilon \times \sigma \times A \times (T_2^4 - T_{\infty}^4) \quad (4.18)$$

Çizelge 4.9. Işınım ile kaybedilen enerji miktarı.

Taşınım ile Gerçekleşen Enerji Miktarı
1- Taban = 0 kW
2- Yan Duvar 1 = 12,4 kW
3- Yan Duvar 2 = 12,4 kW
4- Yükleme Bölgesi = 1,6 kW
5- Yükleme Bölg. Karşı duvar = 2,25 kW
6- Tavan = 47,8 kW
7- Kütük Çıkış Kapak Açıklığı = $297/6 = 49,5$ kW
8- Yükleme Bölg. Kapak Açıklığı = 122 kW
<b>Toplam = 247 kW</b>

3 farklı ısı transfer yolu ile saatlik açıklık ve ısı transfer kayıpları 1.772 kW'dır. Bu değere karşılık gelen enerji miktarı ise 1.522.148 Kcal'dir.

#### 4.5. BACA KAYIPLARI

Baca çekişinden kaynaklı meydana gelen ısı kayıpları debi ile orantılıdır. Bu debi şu şekilde hesap edebiliriz; üretimin saatlik tonaj değeri ve tonaj değerine göre saatlik harcamış olduğu LNG miktarı ile ortaya konulabilir. Bölüm 4.1'de bahsedilen yanma reaksiyonları denklemlerine göre de LNG miktarının 10 katı kadar da sisteme hava

verildiği için LNG ve hava miktarının toplanması ile farklı üretim koşullarının baca debisi elde edilmiştir.

Bacada yapılan 3 ölçümde baca gazı sıcaklık ortalaması 197 °C olarak hesaplanmıştır.

Baca ısı kayıplarının enerji miktarı şu şekilde hesaplanmıştır;

2. üretim durumuna göre aylık ortalama 44,2  $m^3/ton$  enerji harcanmıştır. Saatlik üretim miktarı ise 21 tondur. Bu durumda tüketilen LNG saatlik ortalama ise;

$$44,2 \frac{m^3}{ton} \times 21 ton = 928,3 m^3 \quad (4.19)$$

Bölüm 4.1’de bahsedilen yanma reaksiyonların LNG miktarının 10 katı kadar hava harcanacağına değinilmişti. Saatlik harcanan LNG miktarını ile yakma havası toplanarak bacadan saatlik çıkan gazın yaklaşık miktarını bulmuş olacağız.

$$928,3 m^3 \times 10 = 9283 m^3 \quad (4.20)$$

Bu üretim durumun da 928,3  $m^3$  LNG ve hava miktarları toplanarak 1 saatte bacadan 197 °C sıcaklığın da 10.211  $m^3$  gaz çıkışı olacağı bulunmuş oldu. Bulunan bu değer enerji miktarını hesaplayalım;

1  $m^3$  havanın ağırlığı 1,225 kg’dir. 10.211  $m^3$  havanın ağırlığı ise;

$$10.211 m^3 \times 1,225 \frac{kg}{m^3} = 12.508 kg \quad (4.21)$$

12.508 kg ve 197°C gazın enerji miktarını hesaplayarak saatlik baca ısı kaybı değerine ulaşmış olacağız. Baca gazının öz ısı değeri 375  $\frac{Cal}{kg \cdot ^\circ C}$  olarak alındığında;

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad (4.22)$$

$$Q_{baca} = m_{hava} \times c_{hava} \times (T_{çıkış} - T_{atmosfer}) \quad (4.23)$$



$$Q_{baca} = 12.507 \text{ kg} \times 375 \frac{\text{Cal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (197 - 13,2)^\circ\text{C} \quad (4.24)$$

$$Q_{baca} = 859.699 \text{ Kcal} \quad (4.25)$$

Diğer üretim koşullarını aynı yöntem ile hesaplandığında sonuçları çizelge 4.10'da ki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.10. Farklı üretim koşullarında baca kaynaklı kayıp enerji miktarı.

<b>Baca Kayıp Enerji Tablosu</b>				
	<b>Debi (Saat)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>C (cal/ g°C)</b>	<b>Q (Kcal/h)</b>
<b>1. Üretim Durumu</b>	8734 m <sup>3</sup>	197	0,375	735.491
<b>2. Üretim Durumu</b>	10.211,3 m <sup>3</sup>	197	0,375	859.699
<b>3. Üretim Durumu</b>	5456 m <sup>3</sup>	197	0,375	459.372
<b>4. Üretim Durumu</b>	14.660 m <sup>3</sup>	197	0,375	1.234.388

#### **4.6. REKÜPERATÖR ETKİLERİ**

Tav fırınlarında meydana gelen yanma reaksiyonlarına bölüm 4.1'de bahsedilmiştir. Verimli bir yanmanın gerçekleşebilmesi için belirli oranda hava yakıt bulunması gereklidir. Bu durum araba da, uçak motorlarında, roketlerde aynı prensip geçerlidir. Farkları ise kullanılan yakıt türü ve yanmanın gerçekleştiği ortamlardır. Tav fırınlarında kullanılan yakıtta verilen hava miktarı on katıdır. Atmosfer sıcaklığında olan bu ısıyı ortalama 1102 °C olan fırına aktarılması durumunda fırında soğuma meydana gelecektir.

Bu durumun önlenmesi ve atık ısıdan faydalanılması adına reküperatör sistemleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşım araba turbo sistemlerinde, roket nozulları gibi yerlerde de kullanılmaktadır. Çalışma mekanizmasına örnek vermek gerekirse sıvı yakıtlı

roketlerde yanma reaksiyonuna yanıcı madde girmeden önce nozulun etrafında dolaştırılarak yanıcı maddenin ısınması ve nozulun soğuması sağlanır. Isınan yanıcı maddenin tepkimeye girmeden önce belirli oranda ısı kazanmasından dolayı roket yanma verimini arttırmaktadır. Tav fırınlarında da reküperatörler sayesinde yakma havasına belirli ısı kazandırılarak sistem verimi arttırılmaktadır.

#### 4.6.1. Reküperatör Isı Kazanımı

Reküperatörden kazanılan enerji miktarı fırın sistemine aktarılan hava ile doğru orantılıdır. Üretim esnasında harcanan LNG'nin on katı kadar sisteme reküperatörden geçen ısınmış hava aktarılır. Bu durum ise farklı üretim koşullarında reküperatörden kazanılan enerji miktarını değiştireceği için her üretim koşulu için harcanan LNG miktarı göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır.

2. Üretim durumu olan aylık üretim ortalaması ile kurulan enerji dengesinde saatlik üretim miktarı 21 tondur. Ton başına harcanan LNG miktarı ise  $44,2 \text{ m}^3$ 'tür. Saatlik harcanan LNG miktarı ise

$$21 \times 44,2 \text{ m}^3 = 928,3 \text{ m}^3 \quad (4.26)$$

Harcanan LNG miktarına karşılık gelen yakma havası miktarı ise ;

$$928,3 \text{ m}^3 \times 10 = 9283 \text{ m}^3 \quad (4.27)$$

Bu üretim durumunda saatte  $9.283 \text{ m}^3$  havayı sisteme veriyoruz. Yakma havası sıcaklığı değeri  $310^\circ\text{C}$  olduğuna göre 1 saatte sisteme kazandırılan enerji miktarını hesaplayalım. Havanın ağırlığı  $1,225 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Sisteme verilene saatlik havanın kütlesi;

$$1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9283 \text{ m}^3 = 11.370 \text{ kg} \quad (4.28)$$

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad (4.29)$$

$$Q_{Hava} = m_{Hava} \times c_{Hava} \times (T_{giriş} - T_{çıkış}) \quad (4.30)$$

$$Q_{Hava} = 11.370 \text{ kg} \times 230 \frac{\text{Cal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (310 - 13,2)^\circ\text{C} \quad (4.31)$$

$$Q_{Hava} = 776.161 \text{ Kcal} \quad (4.32)$$

Diğer üretim durumlarının hesaplanması da aynı şekilde yapılmıştır ve çıkan sonuçlar çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı üretim koşullarında reküperatörden kazanılan enerji miktarı.

<b>Reküperatörden Kazılan Enerji Tablosu</b>				
	<b>Debi (Saat)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>C (cal/g°C)</b>	<b>Q (Kcal/h)</b>
<b>1. Üretim Durumu</b>	7.940 m <sup>3</sup>	310	0,23	663.116
<b>2. Üretim Durumu</b>	9283 m <sup>3</sup>	310	0,23	776.161
<b>3. Üretim Durumu</b>	4960 m <sup>3</sup>	310	0,23	414.772
<b>4. Üretim Durumu</b>	13.330 m <sup>3</sup>	310	0,23	1.113.863

#### 4.6.2. Reküperatör Bakımı ve Etkileri

Reküperatörler yüksek ısıya ve basınca maruz kaldığı için zamanla ısı transfer borularında çatlaklar oluşmaya başlar. Bu çatlaklar fırın atmosferine fazla hava girmesine, baca çekişinde düşüklüğe ve yakma hava sıcaklığının düşük kalmasına neden olmaktadır. Analizi yapılan fırının bulunduğu işletmede bu kriterler göz önünde bulundurularak reküperatör değişimi yapılmıştır. Şekil 4.6'da yüksek ısıya ve basınca maruz kalan reküperatör görülmektedir. Isının ilk temas bölgesi olan bölüm daha fazla deformasyona uğradığı anlaşılmaktadır. Deformasyon bölgesi mavi oklar ile belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Isı transfer boruları hasar gören reküperatör.

Hasar gören reküperatörün yerine yedekte bulunan regülatör montaj edilmiştir. Bu reküperatör montajı gerçekleştirilirken eski reküperatör bakımı yapılarak hazırda bekletilmektedir. Yedek reküperatör daha önceki dönemlerde ısıya maruz kalan bölgesi titanyum GR2 astm b337 yüksek ısıya ve basınca dayanımı daha fazla olan malzeme seçilmiştir. Bu sayede bakım süresinin uzaması planlanmaktadır.

Yapılan reküperatör değişimi sonunda yakma havası sıcaklığının 350 °C'ye kadar çıkmaktadır. Yapılan ölçümlerde yakma havası sıcaklık ortalaması 310 °C'dir. Değişim yapılmadan önceki yakma havası sıcaklığı 205 °C ortalama değeri hesaplanmıştır.

Yapılan bu işlem sonunda fırın verimi %30, 42  $m^3/ton$  doğalgaz tüketim ve aylık üretim miktarı ise 10.000 ton olarak kabul edilirse tasarruf edilen enerji miktarını hesaplayalım;

Tüketilen aylık LNG miktarı;

$$10.000 \times 42 = 420.000 m^3 \quad (4.33)$$

Tüketilen hava miktarı ise bu değerin 10 katı olan;

$$420.000 \times 10 = 4.200.000 \text{ m}^3 \text{ Hava} \quad (4.34)$$

Bu havanın ağırlığı ise,

$$4.200.000 \text{ m}^3 \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5.145.000 \text{ kg Hava} \quad (4.35)$$

Bu kadar kütleli bir havayı reküperatör değişimi sayesinde 205°C'den 310°C'ye çıkartmış olduk. Bu işlemin enerji değerini hesaplayalım;

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad (4.36)$$

$$Q_{Hava} = m_{Hava} \times c_{Hava} \times (T_{son} - T_{ilk}) \quad (4.37)$$

$$Q_{Hava} = 5.145.000 \text{ kg} \times 230 \frac{\text{Cal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (310 - 205)^\circ\text{C} \quad (4.38)$$

$$Q_{Hava} = 124,3 \text{ Gcal} \quad (4.39)$$

Kazanılan enerji miktarı aylık olup yıllık ise;

$$124,3 \times 12 \text{ ay} = 1.492 \text{ Gcal} \quad (4.40)$$

Yapılan reküperatör değişimi sayesinde yıllık 1.492 Gcal enerjiden tasarruf edilmiş oldu. Bu tasarruf miktarının maliyet ve çevresel etkileri bölüm 6'da bahsedilmiştir.

### 4.6.3. Reküperatör Tasarımı

Reküperatörler yüksek basınç ve sıcaklık altında çalıştıkları için yıpranma süreleri kısa olmaktadır. Yıpranan reküperatörlerin değişiminin yapılması için fırının belli oranlarda soğuduktan sonra baca kanalına girilip gerekli söküm işlemi yapıp, yeni

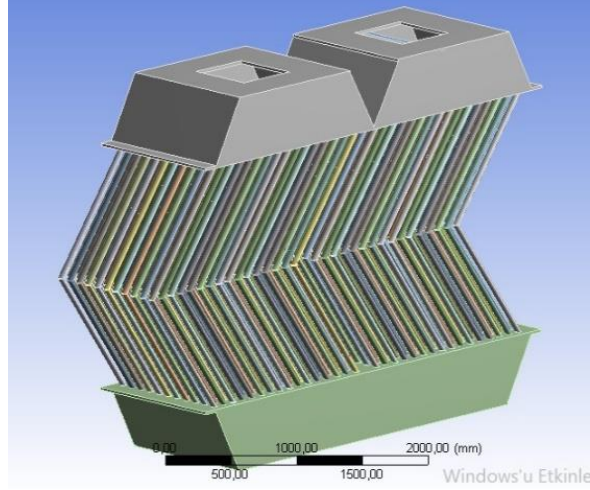
reküperatörün montajı gerçekleştirilebilir. Reküperatörler de kullanılan malzeme kalitesinin değişimi sayesinde bakım süreleri uzatılabilir.

Malzeme değişiminin yanı sıra endüstride kullanılan başka tasarım örnekleri de mevcuttur. Bu tasarımlar düz boru yerine kavisli boru kullanılması yönündedir. Şekil 4.7'de görülen endüstride kullanılan eğimli borulara sahip reküperatördür. Bu reküperatör yüzey alanı arttığı için ısı transfer miktarı artarken, şeklinden dolayı da havanın daha iyi akması sağlanmaktadır. Havanın daha iyi akması neticesinde baca daha iyi çekeceği için fırın atmosferinin rijit olmasına, tavlanan kütüğün homojenizasyonuna olumlu katkı yapmaktadır. Ayrıca bu tasarım da artan yüzey alanı neticesinde birim yüzeye daha az basınç uygulanacağı için bakım süreleri uzayacaktır.



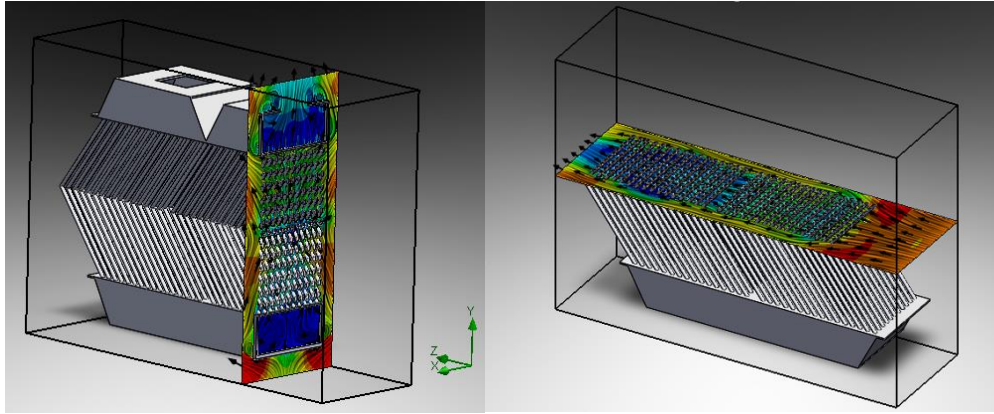
Şekil 4.7. Eğimli tasarlanan reküperatör [23].

Analizi yapılan tav fırınında işletme koşullarına göre yeni tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu sayede daha uzun ömürlü ve enerji verimliliğini arttırmak için şekil 4.8'de ki gibi eğimli reküperatör tasarlandı. Bu tasarımda yüzey alanı %26 oranında artırıldı. Tasarımın öncelikli hedefi işletmenin baca çekişini arttırmak, ısı transfer miktarını arttırmak ve reküperatör ömrünü uzatmaktır.



Şekil 4.8. İşletme şartlarına göre tasarımı yapılan reküperatör.

Bu tasarım gerçekleştirilirken şekil 4.7’de hasar gören bölgeler incelenerek oluşturulmuştur. Şekil 4.7’de ön kısımdan arkaya doğru azalan sıcak havanın akışından kaynaklı bir yüzey deformasyonu görülmektedir. Bu etkileri ortadan kaldırmak ve daha iyi bir akış ortamı sağlamak için eğimli tasarım gerçekleştirildi. Bu tasarım da ki sıcak havanın akış analizi şekil 4.9’da ki gibi gerçekleştirildi.



Şekil 4.9. Tasarlanan hava akışının simülasyon görünümü.

## BÖLÜM 5

### 4 FARKLI ÜRETİM DURUMUNUN FIRIN VERİMİNE ETKİLERİ

Üretim esansında arıza, bakım, ebat ayarı, üretilen ürün ebatı, tatil gibi etmenlerden dolayı üretim her zaman aynı üretim hızı ile devam etmemektedir. Üretim durumuna göre yapılan ölçümler doğrultusunda, gerçeğe en yakın ısıl denge kurulması amacı ile gerçek üretim verileri kullanılarak, farklı üretim durumlarının kurulan enerji denklemleri ile kıyası yapılmıştır.

Fırından çıkan kütüklerin sıcaklığı 102 farklı ölçüm ortalama değeri 1102 °C'dir. 1 Sm<sup>3</sup> LNG enerji miktarı 9155 Kcal'dir [24]. Reküperatör ile ısıtılan yakma havası sıcaklığı 36 farklı ölçümde ortalama 310 °C olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda atmosfer sıcaklığı yıllık il sıcaklığı ortalaması dikkate alınarak 13,2 °C'dir [25].

Bu ölçümler ve ortalama değerler ile yapılan enerji hesabında kütüğe aktarılan enerji yani gerçek iş, açıklık kayıpları, baca kayıpları, bekleme kayıpları, tufal kayıpları reküperatör enerji kazanımı bulunmuştur. Bu değerler ile harcanan enerjinin kıyası yapılmıştır.

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. Sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilen makinelerde kontrol hacmindeki toplam enerji sabittir ( $E_{KH} = \text{sabit}$ ). Bu kontrol hacminin toplam enerjisinde değişim olmadığı anlamına gelir ( $\Delta E_{KH} = 0$ ). Böylece sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmine ısı, iş veya kütle olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunludur [26]. Sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu [27].



$$E_g = E_{\zeta} \quad (5.1)$$

$$Q_{LNG} + Q_{rek} = Q_{kütük} + Q_{açıklık} + Q_{baca} + Q_{bekleme} + Q_{tufal} + Q_{diğer} \quad (5.2)$$

Olarak enerji denklemi kurulmuştur. Bu denklemde  $Q_{LNG}$  LNG'nin yanma enerjisini,  $Q_{rek}$  reküpiratörden kazanılan enerjiyi,  $Q_{kütük}$  tavlanan kütük halindeki çeliğe aktarılan enerjiyi,  $Q_{açıklık}$  yüzey ve açıklık nedeni ile kaybedilen enerjiyi,  $Q_{baca}$  bacanın atmosfere vermiş olduğu sıcak havadan dolayı kaybedilen enerjiyi,  $Q_{bekleme}$  tav fırının üretim harici tatil ve arıza gibi duruşlardan dolayı beklerken meydana gelen kayıp enerjiyi,  $Q_{tufal}$  tufal kayıplarından dolayı meydana gelen kayıp enerjiyi,  $Q_{diğer}$  de hesaplanan enerji denklemlerinden arta kalan enerji miktarını temsil etmektedir. Tav fırının verimliliği ise;

$$\eta = \frac{Q_{kütük}}{Q_{LNG} + Q_{rek}} \quad (5.3)$$

Bu formül de  $\eta$  tav fırını verimliliğini,  $Q_{kütük}$  tavlanan kütük halindeki çeliğe aktarılan enerjiyi,  $Q_{LNG}$  LNG'nin yanma enerjisini,  $Q_{rek}$  reküpiratörden kazanılan enerjiyi ifade etmektedir.

Tufal kaybı ise analizi yapılan tav fırının en düşük ortalama değeri olan %1,31 olarak kabul edilmiştir.

Kütüğe aktarılan enerji olan  $Q_{kütük}$  bulabilmek için belirlenen üretim durumunun saatlik üretilen çelik miktarı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Örneğin saatte 1 kg çelik tavlandıysa bu değer enerji miktarı olarak  $Q_{kütük}$  elde edilmiştir. 1 kg çeliği tavlama için gerekli enerji miktarını hesaplayalım;

$$Q_{Kütük} = m_{kütük} \times c_{kütük} \times (T_{son} - T_{ilk}) \quad (5.4)$$

$$Q_{Kütük} = 1 \text{ kg} \times 115 \frac{\text{Cal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (1102 - 13,2)^\circ\text{C} \quad Q_{Kütük} = 125,2 \text{ Kcal} \quad (5.5)$$

## 5.1. ÜRETİM DURUMU 1

Bu başlıkta bekleme kayıplarından yapılan hesaplamaların bağımsız olması için düzenli üretim esnasında saatlik üretim miktarı hesaplanarak, bu saatte harcanan LNG değerleri sayaçtan okunarak enerji dengesi kurulmuştur. Bu sayede fırın içindeki kütüklerin akış şeklinde belirli bir hız ile tavlama durumu incelenmiştir. Bu sayede sabit bir debi ile üretim esnasında duruşlardan etkilenmeyen enerji denklemi kurulabilir. Sürekli üretim durumu analiz edilebilir. İnceleme yapılan saatte 26 ton çelik tavlansmıştır.

Yapılan net iş miktarı ise 26 ton kütüğün tavlama durumudur. Verim değeri ise;

$$Q_{kütük} = 4.614.334 \text{ Kcal} \quad (5.6)$$

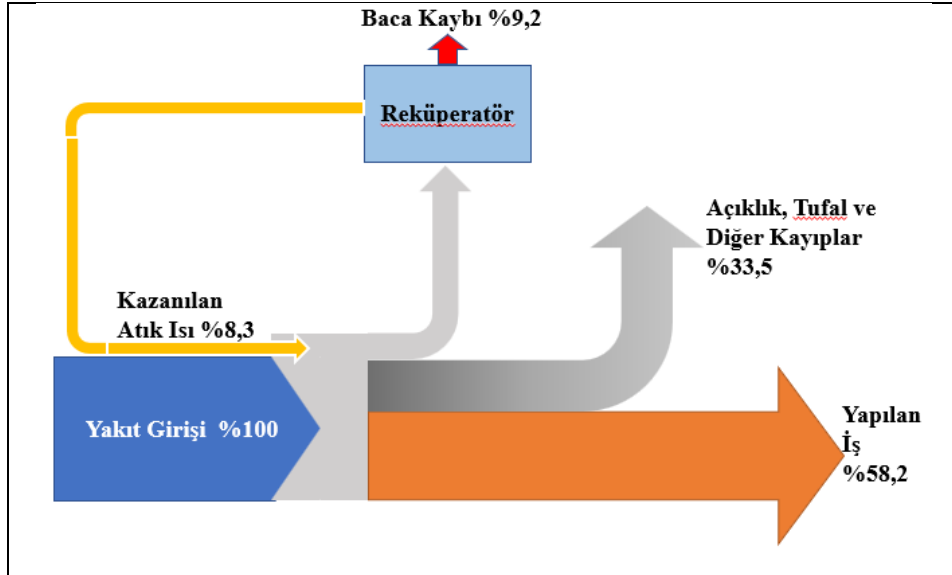
$$\eta = \frac{\text{Tavlama Kütük } (Q_{kütük})}{\text{Harcanan Toplam Enerji } (Q_{LNG} + Q_{rek})} \quad (5.7)$$

$$\eta = \frac{4.614.334 \text{ Kcal}}{7.923.031 \text{ Kcal}} \quad (5.8)$$

$$\eta = \% 58,2 \quad (5.9)$$

Çizelge 5.1. 1. Üretim durumunun toplam enerji dengesi.

İdeal İşletmenin Sürekli Üretim Durumunun Toplam Enerji Dengesi (26 ton/saat)					
Girişler	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
LNG	794 m <sup>3</sup>	-	-	7.259.915	%91,7
Rekuperatör Kazanımı	7.940 m <sup>3</sup>	310	0,23	663.116	%8,3
<b>Toplam</b>				<b>7.923.031</b>	<b>%100</b>
Çıkışlar	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
Tavlanan Kütük	26.000 kg	1102	0,163	4.614.334	%58,23
Açıklık Kaybı	-	80	-	1.522.148	%19,21
Baca Kaybı	8734 m <sup>3</sup>	197	0,375	735.491	%9,28
Tufal Kaybı	340,6 kg	-	0,115	103.791	%1,31
Diğer Kayıplar	-	-	-	947.267	%11,97
<b>Toplam</b>				<b>7.923.031</b>	<b>%100</b>



Şekil 5.1. 1. Üretim durumunun Sankey diagramı.

## 5.2. ÜRETİM DURUMU 2

Bu başlıkta aylık üretilen çelik miktarı ile aylık tüketilen enerji miktarı kıyas edilerek denklik kurulmuştur. Bu üretim durumun da aylık ortalama 44,2 m<sup>3</sup>/ton enerji

harcanmıştır. Saatlik üretim miktarı ise 21 tondur. Yapılan net iş miktarı ise 21 ton kütüğün tavllanması durumudur. Verim değeri ise;

$$Q_{kütük} = 3.726.962 \text{Kcal} \quad (5.10)$$

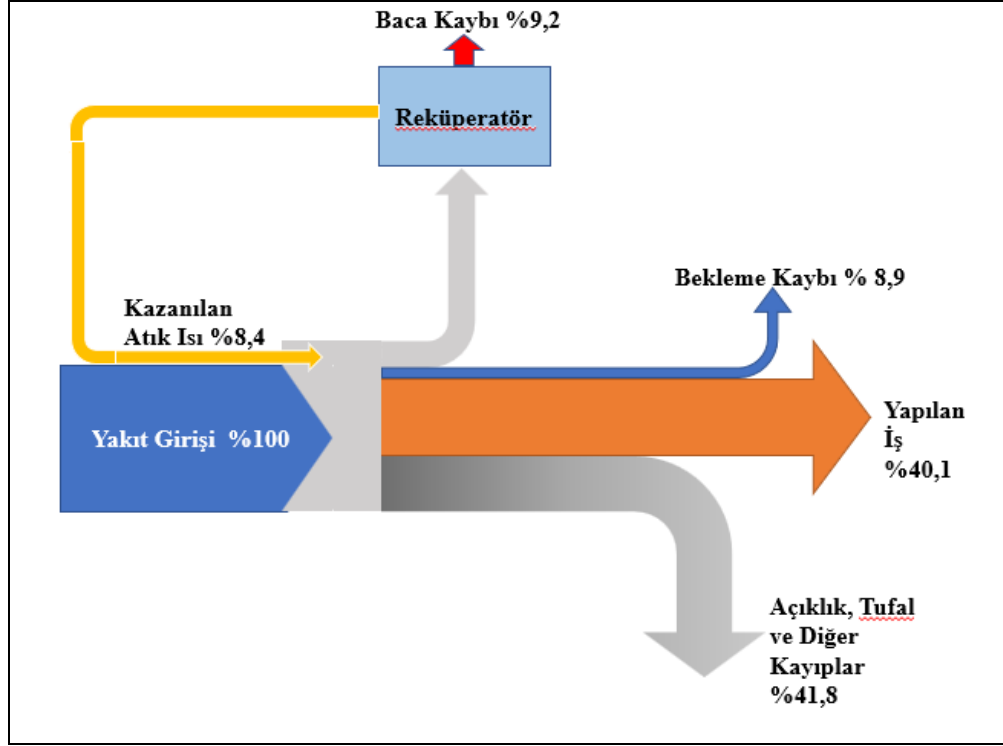
$$\eta = \frac{\text{Tavlanan Kütük } (Q_{kütük})}{\text{Harcanan Toplam Enerji } (Q_{LNG} + Q_{rek})} \quad (5.11)$$

$$\eta = \frac{3.726.962 \text{ Kcal}}{9.273.832 \text{Kcal}} \quad (5.12)$$

$$\eta = \% 40,1 \quad (5.13)$$

Çizelge 5.2. 2. Üretim durumunun toplam enerji dengesi.

Aylık Üretim ve Tüketim Ortalaması Durumunun Toplam Enerji Dengesi (21 ton/saat)					
Girişler	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal/g°C)	Q (Kcal/h)	%
LNG	928,3 m <sup>3</sup>	-	-	8.497.671	91,6
Rekuperatör Kazanımı	9283 m <sup>3</sup>	310	0,23	776.161	8,4
<b>Toplam</b>				<b>9.273.832</b>	<b>%100</b>
Çıkışlar	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal/g°C)	Q (Kcal/h)	%
Tavlanan Kütük	21.000 kg	1102	0,163	3.726.962	40,1
Açıklık Kaybı	-	80	-	1.522.148	16,4
<b>Bekleme Kaybı</b>	-	-	-	<b>826.573</b>	<b>8,9</b>
Baca Kaybı	10.211,3 m <sup>3</sup>	197	0,375	859.699	9,2
Tufal Kaybı	275,1 kg	-	0,115	121.487	1,31
Diğer Kayıplar	-	-	-	2.216.963	24,09
<b>Toplam</b>				<b>9.273.832</b>	<b>%100</b>



Şekil 5.2. 2. Üretim durumunun Sankey diagramı.

### 5.3. ÜRETİM DURUMU 3

Bu başlıkta günlük ortalama üretim miktarının saate bölümünden elde edilen değer 10 tondur. Bugün ortalama ton başına yakılan LNG miktarı ise  $49,6 m^3$ 'tür.

Yapılan net iş miktarı ise 10 ton kütüğün tavllanması durumudur. Verim değeri ise;

$$Q_{kütük} = 1.774.744 \text{ Kcal} \quad (5.13)$$

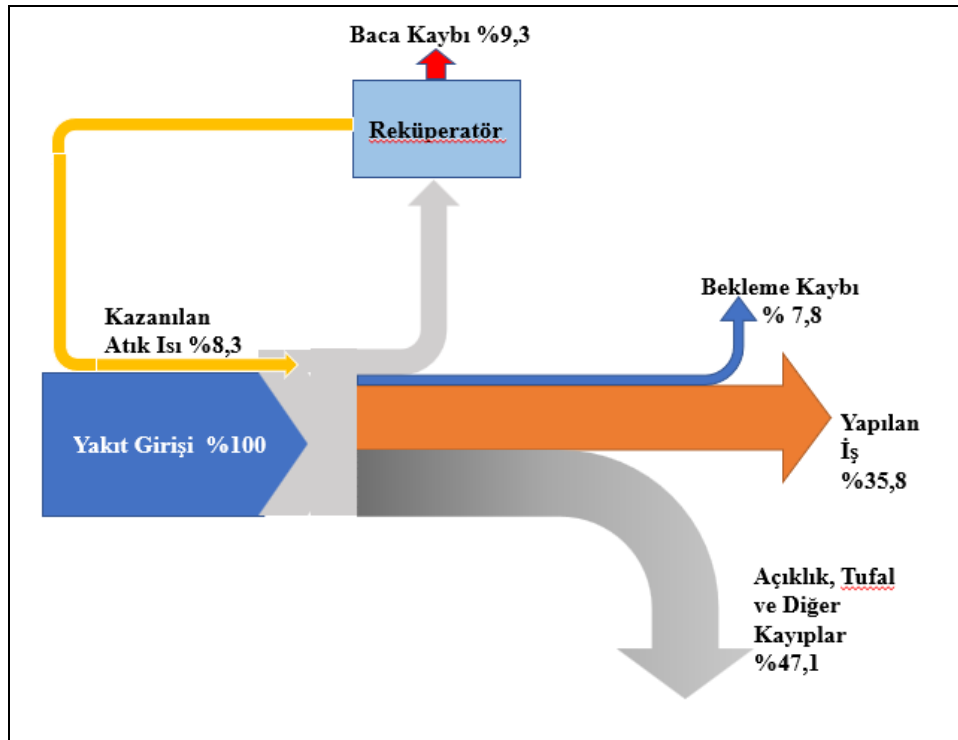
$$\eta = \frac{\text{Tavlanan Kütük } (Q_{kütük})}{\text{Harcanan Toplam Enerji } (Q_{LNG} + Q_{rek})} \quad (5.14)$$

$$\eta = \frac{1.774.744 \text{ Kcal}}{4.955.652 \text{ Kcal}} \quad (5.15)$$

$$\eta = \% 35,8 \quad (5.16)$$

Çizelge 5.3. 3. Üretim durumunun toplam enerji dengesi.

Günlük Üretim ve Tüketim Ortalaması Durumunun Toplam Enerji Dengesi (10 ton/saat)					
Girişler	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
LNG	496 m <sup>3</sup>	-	-	4.540.880	91,7
Rekuperatör Kazanımı	4960 m <sup>3</sup>	310	0,23	414.772	8,3
<b>Toplam</b>				<b>4.955.652</b>	<b>100</b>
Çıkışlar	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	$c$ (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
Tavlanan Kütük	10.000 kg	1102	0,163	1.774.744	35,8
Açıklık Kaybı	-	80	-	1.522.148	30,7
<b>Bekleme Kaybı</b>	-	-	-	<b>390.947</b>	<b>7,8</b>
Baca Kaybı	5456 m <sup>3</sup>	197	0,375	459.372	9,3
Tufal Kaybı	131 kg	-	0,115	64.920	1,31
Diğer Kayıplar	-	-	-	743.521	15,09
<b>Toplam</b>				<b>4.955.652</b>	<b>100</b>



Şekil 5.2. 3. Üretim durumunun Sankey diagramı.

## 5.4. ÜRETİM DURUMU 4

Bu başlıkta günlük ortalama üretim miktarının saate bölümünden elde edilen değer 31,8 tondur. Harcanan LNG ise ton başına 41,8  $m^3$ 'tür.

Yapılan net iş miktarı ise 26 ton kütüğün tavllanması durumudur. Verim değeri ise;

$$Q_{kütük} = 5.643.685 \text{ Kcal} \quad (5.17)$$

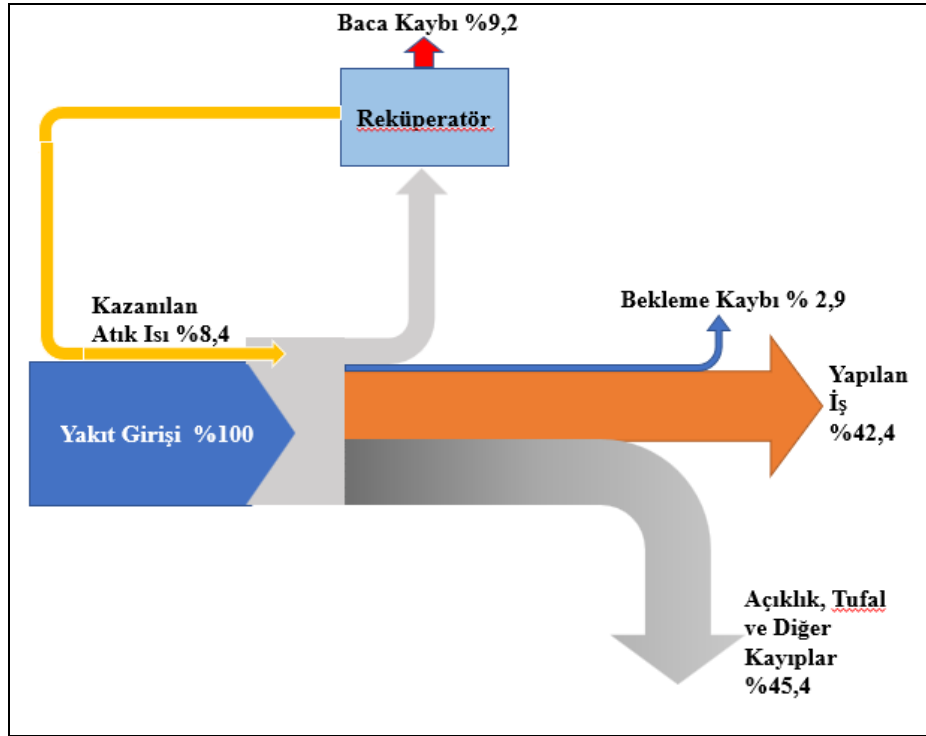
$$\eta = \frac{\text{Tavlanan Kütük } (Q_{kütük})}{\text{Harcanan Toplam Enerji } (Q_{LNG} + Q_{rek})} \quad (5.18)$$

$$\eta = \frac{5.643.685 \text{ Kcal}}{13.308.323 \text{ Kcal}} \quad (5.19)$$

$$\eta = \% 42,4 \quad (5.20)$$

Çizelge 5.4. 4. Üretim durumunun toplam enerji dengesi.

Günlük Üretim ve Tüketim Ortalaması Durumunun Toplam Enerji Dengesi (31,8 ton/saat)					
Girişler	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	c (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
LNG	1330 $m^3$	-	-	12.194.460	91,6
Rekuperatör Kazanımı	13.330 $m^3$	310	0,23	1.113.863	8,4
<b>Toplam</b>				<b>13.308.323</b>	<b>100</b>
Çıkışlar	Debi (Saatlik)	Sıcaklık (°C)	c (cal /g°C)	Q (Kcal/h)	%
Tavlanan Kütük	31.800 kg	1102	0,163	5.643.685	42,4
Açıklık Kaybı	-	80	-	1.522.148	11,4
<b>Bekleme Kaybı</b>				<b>390.947</b>	<b>2,9</b>
Baca Kaybı	14.660 $m^3$	197	0,375	1.234.388	9,2
Tufal Kaybı	416,58 kg	-	0,115	174.339	1,31
Diğer Kayıplar	-	-	-	4.342.816	32,79
<b>Toplam</b>				<b>13.308.323</b>	<b>100</b>



Şekil 5.3. 4. Üretim durumunun Sankey diagramı.

## 5.5. ENERJİ ANALİZ SONUÇLARI

Tablodan görüldüğü üzere en yüksek verim değeri saatlik sayacın okunması ile elde edilen enerji denkleminde çıkmıştır. Bu durum bizlere bekleme kaybı olmadığı için fırın verimini vermiş oldu.

Çizelge 5.5. Farklı üretim durumlarının verimleri.

	Isıl Verim $\eta$
1. Üretim Durumu	% 58,2
2. Üretim Durumu	% 40,1
3. Üretim Durumu	% 35,8
4. Üretim Durumu	% 42,4

Saatlik sayaç değerinin okunması fırının devamlı üretim halinde olarak düşünmemize olanak sağlamıştır. Bu sayede en yüksek ısı eldesine ve verimine ulaşmış olduk. Tav fırınlarında kurulacak olan enerji denklemlerini ideal ve sürekli akış halinde üretim



olması durumu değerlendirilebilir. Bu sayede en doğru enerji denklemi sonuçlarının hesaplanabilir.

## BÖLÜM 6

### FIRIN VERİMİNİN ÇEVRESEL VE MALİ ETKİLERİ

Üretim saatinin artması ile bekleme kayıplarının azaltılması ve reküperatör değişiminin yapılması neticesinde önemli kazanımlar sağlamıştır. Bu bölümde elde edilen ve olası kazanımların çevresel ve mali açıdan analizi yapılacaktır.

Yapılan hesaplamalar da Kardemir A.Ş'den alınan fiyatlarda 1 ton çelik fiyatı 700 \$'dır. Kar-gaz fiyatlandırmasına göre 1 m<sup>3</sup> doğalgaz fiyatı 4,63 Tl (0,42\$), ABD enerji birliği idaresi verilerine göre 1 m<sup>3</sup> LNG 1,92 kgCO<sub>2</sub> karbon salınımı yapmaktadır. 1 kW/h elektrik için yapılan karbon salınım miktarı 0,492 kg'dir [28].

Kardemir A.Ş 2020 sürdürülebilirlik raporuna göre cevherden çelik üretimi yapan şirketin karbon salınım miktarını 2,3 tonCO<sub>2</sub> olarak hesaplanmıştır. Analizi yapılan tav fırının da kullanılan kütükler Kardemir A.Ş'den alınmakta olduğu için bu değer referans alınacaktır. İyileştirmeler sonucunda CO<sub>2</sub> ve maliyetten olan kazançlar değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler ile birlikte ideal bir fırın sürekli çalışması durumunda elde edilecek sonuçlar ve etkilerinden bahsedilecektir.

#### 6.1. ÜRETİM SAATİNİN ARTTIRILMASI

Üretim saatinin arttırılması fırın içinde bekleyen kütüklerin bekleme süresini azaltmaktadır. Bu azalmadan dolayı ortalama tufal miktarı da düşmektedir. Bekleme saati enerjisinden tasarruf edilirken tufal kalınlığında da düşmeye imkan sağlamaktadır. Üretim saatinin 2 katına çıkartılarak % 11,4 oranında tufal miktarında düşüş olduğu bölüm 4.2.3'te hesaplanmıştır. Bu düşüş sayesinde inceleme yapılan tav fırını için tufal oluşumu önlenip, yıllık çelik kazanımı 132 ton olmaktadır. Bu kadar kütüğü tavlama için gerekli enerji miktarı ise 5.998 m<sup>3</sup> LNG'dir.

Çizelge 6.1. Azaltılan CO<sub>2</sub> ve maliyet tablosu.

<b>İyileştirme Sonuçları</b>		
	Önlenen CO <sub>2</sub> Salınımı	Elde dilen Kazanç Miktarı
Kütük Tasarrufu	303,6 Ton	92.400 \$
Enerji Tasarrufu	11,5 Ton	2.524 \$
<b>Toplam</b>	<b>315,1 Ton</b>	<b>94.924 \$</b>

Üretim saatinin arttırılması sonucunda ton başına çelik üretimin de 2,62 kg CO<sub>2</sub> salınımı engellenmiş oldu. Mali açıdan ton başına 0,79 \$ şirketin kasasında kalmış oldu. Bu sonuçlar ışığında elde edilen miktarı kadar rahatlıkla yatırım yapılabilir. Yapılacak olan yatırım amortisman süresine göre hesap edilerek işletme için ar-ge bütçesinin artmasına olanak sağlayacaktır.

## 6.2. REKÜPERATÖR DEĞİŞİMİ

Değişimi yapılan regülatör yakma havasının daha fazla ısıtılarak fırın verimine olumlu etki yaptığı ve enerji miktarı bölüm 4.6.2'te bahsedilmiştir. Bu etkinin yıllık enerji verimliliği ise 1.492 Gcal olarak hesaplanmıştır. Bu enerjiye denk gelen doğalgaz miktarı ise;

$$= \frac{\text{Tasarruf Edilen Enerji Miktarı (Kcal)}}{1 \text{ m}^3 \text{ LNG Enerji Miktarı } \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}\right)} \quad (6.1)$$

$$= \frac{1.492.000.000 \text{ Kcal}}{9155 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}} \quad (6.2)$$

$$= 162.971 \text{ m}^3 \quad (6.3)$$

162.971 m<sup>3</sup> LNG yıllık tasarruf edilmiş oldu. Bu miktara denk gelen CO<sub>2</sub> salınım miktarı ise;

$$= \text{Tasarruf edilen LNG ( m}^3 \text{ )} \times \text{LNG CO}_2 \text{ salınım miktarı} \left( \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^3} \right) \quad (6.4)$$

$$= 162.971 \text{ m}^3 \times 1,92 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^3} \quad (6.5)$$

$$= 312,9 \text{ Ton CO}_2 \quad (6.6)$$

Bu miktar LNG'nin tasarrufundan elde edilen kazanç miktarı ise;

$$= 162.971 \text{ m}^3 \times 0,42 \frac{\$}{\text{m}^3} \quad (6.7)$$

$$= 68.450 \$ \quad (6.8)$$

Çizelge 6.2. Reküperatör değişimi ile elde edilen sonuçlar.

Reküperatör Değişim Sonuçları		
	Önlenen CO <sub>2</sub> Salınımı	Elde edilen Kazanç Miktarı
Y. Havası Sıcaklık Artışı Sonuçları	312,9 Ton	68.450 \$

Yapılan regülatör değişimi sonrası 312,9 ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenmiş oldu. Mali olarak 68.447 \$ değerinde şirketin kazancı oldu. Yapılan yatırım ve değişim maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık olarak 3 aylık bir sürede amorti süresi olacak kadar harcama yapılmıştır.

### 6.3. İDEAL FIRININ SÜREKLİ ÇALIŞMASI

Tav fırınları çeşitli etmenlerden dolayı duruşlar gerçekleştirmektedir. Bu duruşların hiç gerçekleşmeyeceği, daimi bir akış çerçevesinde üretimin devam etmesi durumunda

ve yanma reaksiyonlarının tam olduğu sonuçlardan elde edilecek olan çevresel ve mali etkiler bu bölümde değerlendirilmiştir.

1117 adet yapılan ölçümde üretimin devamlı ve yanma reaksiyonları kontrol altında tutularak gerçekleştirilen üretimler de tufal miktarı 0,1 mm'den daha ince olduğu defalarca kez ölçülmüştür. Bu değeri ölçülemeyecek kadar ince olduğu için oluşmadığı kabul edilip, tufal ortalama kalınlığı ise 1,48 mm olarak ortalama değer ölçülmüştü. Bu değer ile analizi yapılan tav fırını için yıllık 1.776 ton çelik tufal olması önlenip çelik halinde kalacaktır.

Yani sürekli üretim halinde ve tav fırınının yanma reaksiyonları ile 1.776 ton çelik tufal olması önlenip nihai çelik şeklinde kullanımına olanak sağlamış olacaktır. 1.776 ton çeliğin üretilmesi için çevreye etkilerini hesaplayalım. 1 ton çelik üretimi için salınan  $CO_2$  miktarı olan 2,3 ton olduğuna göre;

$$1.776 \text{ ton} \times 2,3 \frac{CO_2}{\text{ton}} \quad (6.9)$$

$$= 4.084,8 \text{ ton } CO_2 \quad (6.10)$$

1296 ton çeliğin mali kazanç değeri ise;

$$= 1.776 \text{ ton} \times 700 \frac{\$}{\text{ton}} \quad (6.11)$$

$$= 1.243.200 \$ \quad (6.12)$$

1296 ton çeliği nihai ürün haline geleceği ve bu üründen aynı zamanda enerji tasarrufu da edildiği için, tav fırınının enerji sarfiyat miktarı olarak  $42 \text{ m}^3/\text{ton}$  ortalaması Kabul edilirse, Bu miktar çeliği tavlamak için gerekli LNG miktarı;

$$= 1.776 \text{ ton} \times 42 \frac{m^3}{\text{ton}} \quad (6.13)$$

$$= 74.592 \text{ m}^3 \text{ LNG} \quad (6.14)$$

Bu miktar LNG'nin tasarrufundan önlenen çevresel etkileri ise;

$$= \text{Tasarruf edilen LNG } m^3 \times \text{LNG } CO_2 \text{ salınım miktarı } \frac{kgCO_2}{m^3} \quad (6.15)$$

$$= 74.592 \text{ m}^3 \times 1,92 \frac{kgCO_2}{m^3} \quad (6.16)$$

$$= 143,2 \text{ Ton}CO_2 \quad (6.17)$$

Bu miktar LNG'nin tasarrufundan elde edilen kazanç miktarı ise;

$$= 74.592 \text{ m}^3 \times 0,42 \frac{\$}{m^3} \quad (6.18)$$

$$= 31.328 \$ \quad (6.19)$$

Çizelge 6.3. İdeal fırından elde edilecek sonuçlar.

Sürekli Üretim Sonuçları		
	Önlenen $CO_2$ Salınımı	Elde edilen Kazanç Miktarı
Kütük Tasarrufu	4.084,8 Ton	1.243.200 \$
Enerji Tasarrufu	143,2 Ton	31.328 \$
<b>Toplam</b>	<b>4228 Ton</b>	<b>1.274.528 \$</b>

Üretimin daimi olması ve ideal yanma reaksiyonlarının oluşturulması durumunda üretilen 1 ton çelik için 3,52 kg  $CO_2$  salınımı önlenirken, 10,62 \$'da karlılık sağlanabilir.

Çizelge 6.4. Yapılan iyileştirme çalışmalarının ve ideal üretim durumu sonuçları.

Tasarrufun Adı	Tasarruf Cinsi	Yıllık Enerji Tasarruf Miktarı (Kcal)	Yıllık Çelik Tasarruf Miktarı (Ton)	Tasarrufun Yıllık Mali Karşılığı (USD)	Önlenen Karbon salınımı (Ton)	Yatırım Miktarı (USD)	Ödeme Süresi (Ay)
<b>Tav fırını reküperatöründen sızıntı hava kaybının önlenmesi</b>	Enerji	1.492.000.000	-	68.450 \$	319,9 Ton CO <sub>2</sub>	12.000 \$	2,1
<b>Analizi yapılan fırında üretim saatini arttırarak tufalin önlenmesi</b>	Enerji + Ürün	54.911.690	132 Ton	94.924 \$	315,1 Ton CO <sub>2</sub>	-	-
<b>İdeal işletme ve fırının sürekli çalışması elde edilecek enerji</b>	Enerji	4.563.761.440	-	209.369 \$	957 Ton CO <sub>2</sub>	-	-
<b>İdeal işletme ve fırının sürekli çalışması ile önlenecek olan tufal</b>	Enerji + Ürün	498.324.960	1296 Ton	930.060 \$	3084,5 Ton CO <sub>2</sub>	-	-
<b>Toplam</b>				<b>1.302.803 \$</b>	<b>4676</b> Ton CO <sub>2</sub>		

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada demir çelik sektöründe kullanılan tav fırını 4 farklı üretim durumu analiz edilmiş oldu. Bu analizler tav fırın veriminde etki eden faktörler göz önünde bulundurularak gerçekleştirildi. Fırın verimi hesaplanırken üretim durumunun değişkenliğinden kaynaklanan en düşük %35,8, en yüksek ise %58,2 olarak hesaplanmıştır. Bu farkın temel nedeni sürekli üretimin tav fırını verimine olan etkisidir. Bu durum bizlere fırın verimini hesaplarken sürekli ve farklı üretim durumlarının verim hesabı yaparken göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermiş oldu.

Analizi yapılan tav fırının da reküperatörün zamanında yapılan bakımı, üretim saatinin arttırılması ve yanma reaksiyonlarının kontrolü ile tufal miktarının azaltılması ile yıllık 635 ton  $CO_2$  salınımı önlenirken, 163.374 \$ yıllık kar sağlanmıştır. Sürekli üretim yapan ve yanma reaksiyonlarının da kontrol altında tutulduğu ideal bir tav fırınının da tufal oluşumu en aza indirilip, yıllık 4.676 ton  $CO_2$  salınımını önleyeceği, 1.302.803 \$ da şirkete kar sağlayacağı hesaplanmıştır.

Bu çalışmaların ülke genelinde yapılarak çok büyük çevresel ve mali sonuçlara ulaşılabilir. 2021 yılı itibarı ile 40,4 milyon ton sıvı çelik üretimi olmuştur [29]. Bu miktar çeliğin haddelendiği düşünülürse %1,5 tufal kayıp miktarı yapılacak olan çalışmalar ile ortadan kaldırılırsa yıllık 424 Milyon \$ ülke genelinde karlılık sağlanabilir. Üretilen çeliği ortalama karbon sanı miktarını 1,5 ton/ $CO_2$  olarak kabul edilirse 1 milyon ton CO' salınımı önlenebilir. Ulaşılan bu değerler, yapılacak olan hibe ve yatırımların ne kadar önemli olduğunu bizlere göstermektedir.



## KAYNAKLAR

1. İnternet: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı “Kyoto Protokolü İçeriği”, <https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363> (2019).
2. Çengel YA, Boles MA. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. **Derbentli T**, Çeviri Editörü. İstanbul: Literatür; 1996, p. 369-791.
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. Türkiye Petrolleri A.Ş. Mayıs 2017, “2016 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu,” [www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektorrapor3105.pdf](http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektorrapor3105.pdf), son erişim tarihi **19.03.2018**.
5. Tütünoğlu, Y., Güven, A. ve Öztürk, İ. T., “Cam temperleme fırınında enerji analizi”, *III. Enerji Verimliliği Kongresi, Kocaeli*, 153-166 (2011).
6. İnternet: Uluslararası Enerji Kurumu “Karbon emisyon oranlarının yıllara göre dağılımı”, [inhttps://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions](https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions).
7. Terzi, Ü. K. and Baykal, R., “Efficient and effective use of energy: a case study of Tofas”, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1 (55): 29-33 (2011).
8. İnternet: British Petrol BP. (2016) “Farklı Enerji Tüketim Türleri ve Oranları” <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2017>.
9. 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.
10. 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.
11. İnternet: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği “Türkiye’de Sıvı Çelik Üreten Firmalar ” <https://celik.org.tr/tag/tcud/>.
12. TDDMM, (2016). **Türkiye Demir Ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu** (2016).

13. Worrell, E., Martin, N. and Price, L., “Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the U.S. iron and steel sector”, *LBNL Report 41724, USA*, iii (1999a).
14. Manatura K. and Tangtrakul M., “A study of specific energy consumption in reheating furnace using regenerative burners combined with recuperator”, *Silpakorn U Science & Tech J.*, 4 (2): 7-13 (2010).
15. Çelik, D., “Endüstriyel bir tav fırının enerji, ekserji ve ekonomik analizi” Yüksek Lisans Tezi, **Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Isparta (2019).
16. Kılınç, E., “Endüstriyel fırınlarda enerji analizi ve verim artırıcı yöntemler” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**, Karabük (2012).
17. Kurbanoglu, A., “Demir çelik sektöründe tav fırını atık ısısını ısı kaynağı olarak kullanan organik Rankine çevriminin termodinamik analizi” Yüksek Lisans Tezi, **İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Hatay (2017).
18. Yıldırım, A., “Haddehane tav fırının da ısı kayıpları ve enerji analizi” Yüksek Lisans Tezi, **İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Hatay (2018).
19. Çakıroğlu, Ö., “Sanayi tav fırınlarının çelik yüzey oksidasyonu ve verimliliğe etkileri” Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1995).
20. Çolak, B., “Soğuk haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen haddeleme parametrelerinin ve malzeme özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 23 (2018).
21. İnternet: Aydınlar Refrakter “Çok Fonksiyonlu ve Büyük Örnek Tav Fırını ” <http://www.aydinlarrefrakter.com>.
22. Çakıroğlu, Ö., “Sanayi tav fırınlarının çelik yüzey oksidasyonu ve verimliliğe etkileri” Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1995).
23. İnternet: Wat Enerji “Eğimli Yüksek Isıya Dayanıklı Reküperatör Örneği”, <https://www.vat.com.tr/tr/cozumlerimiz/rekuperator/>.
24. İnternet: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Şirketi “LNG Birim Enerji Değeri” <https://www.botas.gov.tr/Sozluk?Kelime=796>.

25. İnternet: Karabük Tarım Orman İl Müdürlüğü “Karabük İli Yıllık Sıcaklık Ortalaması”, <https://karabuk.tarimorman.gov.tr/Menu/26/Karabuk-Ve-Tarim>.
26. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2011). Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı, Çeviri Editörü: Pınarbaşı, A., **Güven Bilimsel**, İzmir, 753-757, 764.
27. **Halıcı, F. ve Gündüz, M.** (2010). Örneklerle ısı geçişi, ısı transferi. Birsen yayınevi, 0029, 563, İstanbul.
28. İnternet: Ege Orman Vakfı (EOF) “Karbon Ayak İzi Hesaplaması Metodu” <https://www.egeorman.org.tr/hesaplayicilar/karbon-ayakizi/>.
29. İnternet: Anadolu Ajansı “2021 Yılı Ham Çelik Üretimi ve İhracat Miktarı” <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-ham-celik-uretim-ve-ihracatinda-rekor-kirdi/2492687>.

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Fuat SERİER, İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Edirne Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Raylı Sistemler Prog. başlayıp 2018 yılında bir çok mühendislik çalışması ve projelerin yanın da sosyal faaliyetlerde görev aldı. 4 yıldır yarım milyon tona yaklaşan kare, yuvarlak, lama, üçgen, asansör rayı üretim tecrübesi ile demir çelik sektörün de çalıştı. Aynı zaman da AB proje komisyonu ile çevre ve iklim değişikliği konusu üzerine çalışmaları devam etmektedir.