

**ENDÜSTRİYEL TAV FIRININDA EKONOMİZER  
TASARIMI**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Hüseyin ÇITIR**

# **ENDÜSTRİYEL TAV FIRININDA EKONOMİZER TASARIMI**

**Hüseyin ÇITIR**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2013**

Hüseyin ÇITIR tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL TAV FIRININDA EKONOMİZER TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/ 06/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)



Üye : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

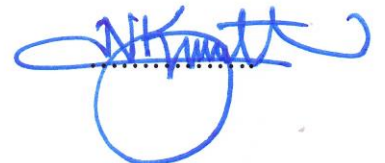


...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Hüseyin ÇITIR

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ENDÜSTRİYEL TAV FIRININDA EKONOMİZER TASARIMI**

**Hüseyin ÇITIR**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**Haziran 2013, 34 Sayfa**

Enerji kaynaklarının azalması, enerji ihtiyacının ve enerji maliyetlerinin artması, sanayideki rekabetçi koşullar ve çevresel duyarlılık enerji kaynaklarını verimli kullanmayı gerektirmektedir. Bu çalışmada sanayide enerjinin verimli kullanılması kapsamında Ray ve Profil Haddehanesi tav fırınında ekonomizere bağlı olarak atık ısı geri kazanım çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada baca gazı ölçümleri yapılmış, yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilmiş, ölçüm sonuçları ve kuruluş verileri ile birlikte kütle ve enerji dengesine yönelik hesaplamalar kullanılarak ekonomizlerden enerji kullanım imkanları, boyutları ve geri ödeme süreleri ile birlikte belirlenmiştir. Çalışma sonucunda düşük maliyetli bir yatırım ile ekonomizer tasarlanıp imal edilerek atık baca egzoz gazının ısı kazanımı çalışması belirlenmiştir. Mevcut durumda, haddehane tav fırınının baca egzoz gazı atık ısı miktarı 7391544 kJ/h olarak hesaplanmıştır. Ekonomizer verimi, % 84 olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Endüstriyel fırınlar, enerji, ekonomizer, enerji tasarrufu.

**Bilim Kodu** : 914.1.038

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **ENERGY PRODUCTIVITY EFFECT OF ECONOMIZER IN REHEATING FURNACES**

**Hüseyin ÇITIR**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**June 2013, 34 Pages**

Decrease in energy resources, increase in energy requirement and energy costs, competitive conditions in industry and environmental sensitivity have required energy resources to be used efficiently. In this study, within the scope of efficient use of energy in industry, a study on waste heat recovery has been done in reheating furnace of Rail and Section Mill. Within the study; measurements have been done in flue gas of reheating furnace, the measurements have been evaluated for reheating furnace, calculations oriented to energy balance have been done by using measurement results and company data and energy saving opportunities have been specified with its amounts and payback periods. Suggestions on how these opportunities will be applied have been made. As a result of the study, operation of the furnaces with assembled economizer has been stated as the waste heat recovery with small investment. Amount of waste heat for reheating furnace of rolling mill has been calculated as 7391544kJ/h for the current situation. It is determined that this

waste heat energy can be used for office heating and domestic water heating. Economizer has been mounted to use this waste heat after the rekuperator. It is requested that wather which is passing from the economizer is heated by waste heat which is coming from chimney at the same time, with heat transfer method.

**Key Words** : Reheating furnaces, energy, ekonomizer, waste heat recovery.

**Science Code** : 914.1.038



## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmama verdikleri desteklerden dolayı danıŐmanım Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, ölçümler esnasındaki yardımlarından dolayı Karabük Üniversitesi Enerji ve evre Teknolojileri Birimi'ndeki çalışma arkadaŐlarım, tezime verdikleri her türlü maddi ve manevi destekten dolayı baŐta ArŐ. Gör. Enes KILINÇ olmak üzere Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki ve Kardemir Ray ve Profil Haddehanesindeki arkadaŐlarım, ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili eŐime ve sevgili kızıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
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 .....	7
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	7
BÖLÜM 3 .....	9
ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA EKONOMİZER KULLANARAK ATIK ISININ GERİ KAZANILMASI.....	9
3.1. EKONOMİZERİN TANIMI VE ÇEŞİTLERİ.....	10
3.1.1. Ekonomizer Çeşitleri .....	10
3.1.1.1. Düz veya Firkete Borulu Ekonomizerler .....	10
3.1.1.2. Kanatlı Borulu Ekonomizerler .....	11
3.1.1.3. Helezon ve Spiral Borulu Ekonomizerler .....	12
3.1.1.4. Duman Borulu Ekonomizerler .....	12
3.2. ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA EKONOMİZER KULLANIMININ AMACI .....	13
3.2.1. Duman Gazı Özellikleri:.....	13
3.3. EKONOMİZER TASARIMINDA KULLANILAN EKİPMANLAR .....	16

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.1. Klape 1 .....	18
3.3.2. Bağlantı Kanalları .....	18
3.3.3. Atık Isı Kazanı .....	20
3.3.4. Klape 2 .....	21
3.3.5. Armatürler .....	22
3.3.6. Otomasyon .....	22
BÖLÜM 4 .....	23
YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR .....	23
4.1. TEORİK TEMEL VE HESAPLAMA YÖNTEMİ .....	23
4.1.1. Isı Denklemi .....	23
4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI .....	23
4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları .....	24
4.2.2. Haddehane Tav Fırını Enerji Denkliği .....	26
4.2.3. Haddehane Tav Fırını Verimi .....	27
4.2.4. Ekonomizer Tesis Edilmesi ile Yapılacak Tasarruf Miktarı .....	28
4.2.5. Ekonomizer ile Yapılacak Isı Tasarruf Miktarının Hesaplanması .....	28
4.2.6. Ekonomizer ile Isı Geri Kazanım Tasarruf Miktarı .....	29
4.2.7. Ekonomizer ile İşgücü kazancı .....	29
4.2.8. Ekonomizer ile Elektrik Tüketimi Maliyeti .....	29
4.2.9. Ekonomizer Yatırım Maliyeti .....	29
4.2.10. Geri Ödeme Süresi .....	30
BÖLÜM 5 .....	31
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	31
KAYNAKLAR .....	33
ÖZGEÇMİŞ .....	34

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi. ....	1
Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi. ....	2
Şekil 1.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri. ....	2
Şekil 1.4. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları. ....	3
Şekil 1.5. Küresel enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımı. ....	4
Şekil 1.6. Endüstriyel bir tav fırını. ....	5
Şekil 3.1. Tav fırınının reküperatör sonrası ekonomizer. ....	9
Şekil 3.2. Ekonomizer. ....	10
Şekil 3.3. Düz veya firkete borulu ekonomizerler. ....	11
Şekil 3.4. Kanatlı borulu ekonomizerler. ....	11
Şekil 3.5. Helezon ve spiral borulu ekonomizerler. ....	12
Şekil 3.6. Duman borulu ekonomizerler. ....	13
Şekil 3.7. Ekonomizer şeması. ....	16
Şekil 3.8. Ekonomizer tasarımı. ....	17
Şekil 3.9. Klape 1. ....	18
Şekil 3.10. Bağlantı elemanları. ....	19
Şekil 3.11. Bağlantı elemanları ve ölçüm sensörleri. ....	19
Şekil 3.12. Genleşme tankları. ....	20
Şekil 3.13. Panel ve sirkülasyon pompaları. ....	20
Şekil 3.14. Atık ısı kazanı. ....	21

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Duman gazı ölçüm sonuçları. ....	14
Çizelge 3.2. Armatür özellikleri.....	22
Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan yakıt debileri. ....	24
Çizelge 4.2. Kok gazı analiz değerleri. ....	24
Çizelge 4.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.....	25
Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını kok gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.....	25
Çizelge 4.5. Haddehane tav fırını yüksek fırın gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.....	26
Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı.....	26
Çizelge 4.7. Haddehane tav fırını toplam enerji denkleği. ....	26
Çizelge 4.8. Haddehane tav fırını verimi. ....	28
Çizelge 4.9. Haddehane tav fırınına ekonomizer tesis edilmesi ile yapılacak tasarruf miktarı. ....	28
Çizelge 4.10. Bacadan toplam ısı kazancı. ....	29
Çizelge 4.11. Maliyet, tasarruf ve geri ödeme tablosu. ....	30

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

C	: Karbon
CH <sub>4</sub>	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
c <sub>p</sub>	: Sabit basınçta özgül ısı
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	: Asetilen
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	: Etilen
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	: Etan
E	: Enerji
EJ	: Exajoule (10 <sup>18</sup> joule)
GJ	: Giga joule
Gt	: Giga ton
h	: Saat
H	: Alt ısı değer
HY	: Hava-yakıt oranı
H <sub>2</sub>	: Hidrojen
H <sub>2</sub> O	: Su buharı
kcal	: Kilo kalori
kJ	: Kilo joule
kg	: Kilogram
kWh	: Kilo watt saat
m	: Kütle
$\dot{m}$	: Debi
M	: Mol kütlesi
MJ	: Mega joule
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol

Mtoe	: Million ton oil equivalent
m <sup>2</sup>	: Metrekare
N	: Mol sayısı
Nm <sup>3</sup>	: Normal metre küp
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
N <sub>2</sub>	: Azot
O <sub>2</sub>	: Oksijen
Q̇	: Isı miktarı
SO <sub>2</sub>	: Kükürt dioksit
t	: Ton
T	: Sıcaklık
TEP	: Ton eşdeğer petrol
φ	: Eşdeğerlik oranı
η	: Verim
°C	: Derece santigrat
%FH	: Fazla hava yüzdesi
ΔE	: Enerji değişimi

## **ALT İNDİSLER**

bg	: Baca gazı
ç	: Çıkan
d	: Diğer
g	: Giren
h	: Hava
k	: Kütük
KH	: Kontrol hacmi
s	: Stokiyometrik
ss	: Soğutma suyu
y	: Yakıt
yh	: Yakma havası

## **KISALTMALAR**

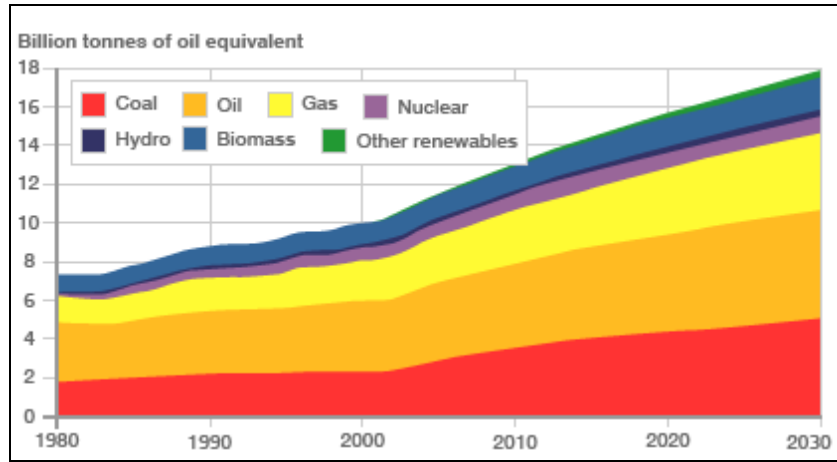
AID	: Alt ısııl değer
DRI	: Direct reduced iron
et al	: Et alii (Latince)
FD	: Forced draft
ID	: Induced draft
IEA	: International Energy Agency
IISI	: International Iron and Steel Institute
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ob	: Orijinal baz
PHAST	: Process Heating Assessment and Survey Tool
TL	: Türk lirası
USD	: Amerikan doları
ID	: Üst ısııl değer
vd	: Ve diğerleri
YFG	: Yüksek fırın gazı



## BÖLÜM 1

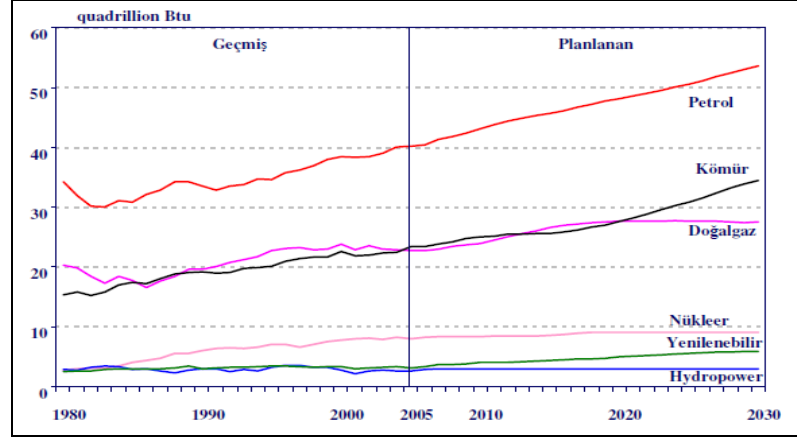
### GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun temel ihtiyaçlarının karşılanması ve hayat standartlarının yükseltilmesinde birincil derecede bir gereksinim olarak kabul edilmektedir. Hâlihazırda dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edildiğinden, bütün enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Şekil 1.1’de de görüldüğü gibi dünya enerji üretiminin önemli bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır.



Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi.

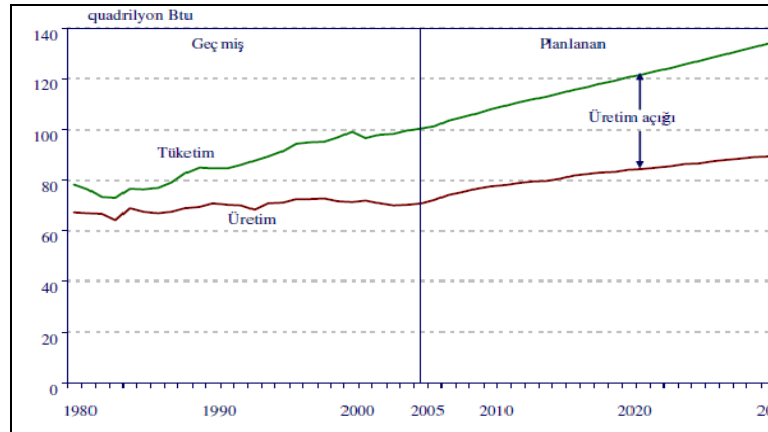
Dünyanın enerji tüketimi son yirmi yıl içerisinde beklenenden % 57 daha fazla artmıştır. Şekil 1.2’de dünyada hızla büyüyen küresel enerji ihtiyacına ilişkin bilgiler verilmiştir. Burada geçmiş otuz yılın tüketim bilgileri ve gelecek yirmi yılın tahmin edilen tüketim değerleri verilmiştir. Burada açıkça görülmektedir ki dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı (yaklaşık % 86) fosil yakıtlardan elde edilmektedir.



Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi.

Gelecekte ülkelerin ve küresel ekonomilerin hızla büyüebilmesi için ülkelerin enerji ihtiyaçlarının ve tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Fosil yakıtlar dünyanın her bölgesinde bulunmamakla birlikte yakıtların çıkarıldıkları bölgelerdeki siyasi ve ekonomik sıkıntılar bütün dünyayı etkilemektedir. Ayrıca geleneksel enerji kaynaklarından günümüz teknolojileri ile elektrik üretimi sırasında ciddi çevre kirliliği sorunları meydana gelmektedir. Bu sebeple bütün dünyada yeni ve temiz enerji türlerine olan ilgi ve araştırmalar hızla artmaktadır [1].

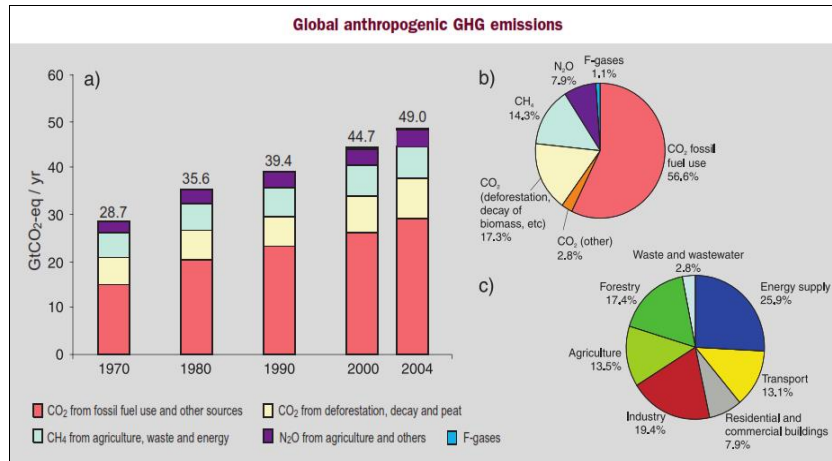
EIA (Energy Information and Administration) kurumu tarafından oluşturulan istatistiksel bilgiler doğrultusunda Dünyanın toplam enerji üretim ve tüketimine dair veriler Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.

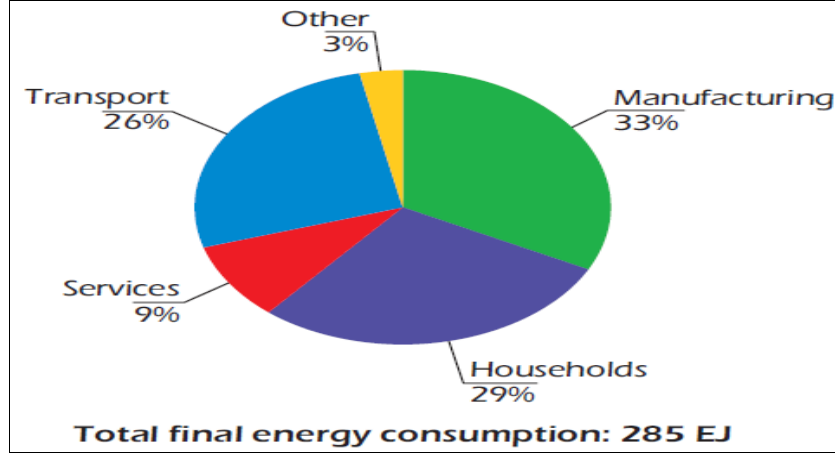
Eğriden de görüldüğü gibi gelecek 20-30 yıl süresinde dünyanın ürettiği enerji talep edilen ve tüketilen enerji miktarını karşılamayacaktır. Ortaya çıkan enerji açığını azaltmak için ya enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmeli veya alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalımsalar daha da arttırılarak ilerletilmelidir. Günümüzde fosil kökenli enerji kaynakları hazır olarak tüketilmekte ve enerji kullanımında önemli bir artış görülmektedir. Enerjinin kullanımı ile enerji kaynakları arasındaki ilişki, enerji maliyetlerinde dramatik bir artışa neden olmasına rağmen kaynakların uygun miktarda kullanımını gerektirmektedir [2].

Enerji tüketiminin hızla artması, fosil kökenli yakıtların daha çok kullanılmasına ve atmosfere salınan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarının artmasına neden olmakta; bunun sonucu oluşan sera etkisi ile iklim değışiklikleri kaçınılmaz hale gelmektedir [5]. CO<sub>2</sub> en önemli insan kökenli sera gazıdır. Şekil 1.4’de görüldüğü gibi CO<sub>2</sub>, 2004 yılındaki toplam insan kaynaklı sera gazı salınımlarının %77’sini oluşturmuş ve 1970 ile 2004 yılları arasında yıllık CO<sub>2</sub> salınımı %80 oranında 21 Gt’dan 38 Gt’a yükselmiştir. 1970 ile 2004 yılları arasında sera gazı salınımlarında en büyük artış enerji tedariki, taşımacılık ve sanayi sektörlerinden kaynaklanmıştır.



Şekil 1.4. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları.

1990 ve 2005 yılları arasında küresel boyutta toplam enerji tüketimi %23 oranında artmıştır. Şekil 1.5’te küresel enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı gösterilmiştir. 2005 yılında imalat sanayii %33’lük pay ile enerjiyi küresel olarak en çok tüketen sektör olmuştur.



Şekil 1.5. Küresel enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımı.

Tüm dünyada küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliği, enerji ve çevre güvenliği, bunun yanında enerjinin verimli ve yararlı kullanımı başlıkları önemli rol oynamaktadır. Yaşam kalitesinden ve üretimden ödün verilmeden enerji verimliliği ile enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Jollands ve arkadaşları (2009), tasarruf edilen enerjiyi dönüştürülebilen, ucuz, yerli ve temiz bir enerji kaynağı olarak tanımlamışlardır.

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 [2].

Demir-çelik sektörü yıllık yaklaşık 24 EJ ( $\times 10^{18}$ ) enerji tüketimi ile en çok enerji tüketen sektörlerden birisidir ve dünyanın toplam enerji tüketiminin %5'ine karşılık gelmektedir [3].

Demir-çelik sektörü kömürü birincil indirgeyici madde olarak kullanmaktadır. Kömürün en büyük bileşeni olan karbon (C), süreç sonucunda çevreye CO<sub>2</sub> olarak bırakılır. Bu yüzden bu sektördeki enerji tüketimi CO<sub>2</sub> salınımına eşittir ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [4].

Demir-elik sektöründe enerji verimliliğinin artırılması sera gazı salınımının azaltılmasında etkili ve kısa vadeli bir yaklaşımdır. Brüksel’de bulunan International Iron and Steel Institute (IISI) Kyoto süreci sonrasında iklim deĐiŐikliĐine yeni ve küresel bir yaklaşımla geliŐtirmek için devletleri demir-elik sektörü ile çalıŐmaya davet etmiŐtir [3].

Endüstriyel iŐletmeler açısından bakıldığında, verimliliği arttırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlamakla birlikte kaynakların verimli kullanımına ve evre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin artırılması, ısıl kayıpların meydana geldiği bölgelerin ve miktarlarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır [5].

İçerisine yerleŐtirilen ya da sürekli olarak Şarj edilen malzemeleri ekonomik bir Şekilde ısıtmak suretiyle iŐlem sıcaklığına yükselten ve gerektiğinde bu sıcaklıkta gerekli süre kadar tutan teknik ünitelere ocak ya da fırın adı verilmektedir. Tav fırınları; çeliklerin haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleŐtirilen ve eliklerin 1050-1300°C sıcaklık aralığında ısıtılmasında kullanılan ve sürekli çalışan fırınlardır [6]. Sanayide kullanılan endüstriyel bir tav fırını Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Endüstriyel bir tav fırını.

Endüstriyel tesislerde enerjiyi en yoğun kullanan ünitelerin baŐında fırınlar gelmektedir. Endüstriyel fırınlar ergitme, ısıl iŐlem, piŐirme, kurutma, temperleme,

vb. süreçleri gerçekleştirmektedir. Fırınlara, tasarlandıkları süreçlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli hammadde ve enerjinin beslenmesi gerekir [5].

Fırınlara, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan tavlama fırınları, endüstriyel işletmelerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu kirlilik açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir [7].

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dexin Wang et al., yaptıkları çalışmada bir kömür santralinde buhar kazanı ile ilgili verileri toplayarak atık ısı kazanımı ve verim artırma amaçlı TMC santrali uygulaması gerçekleştirmişler. Sonuçta atık ısıda %40'a varan iyileşme görmüşlerdir. Su buharı ve verimde %5 artış tespit edilmiştir [8].

Daniela et al., yaptıkları çalışmada atıkların verimli kullanımını ele alıp, atık gazla çalışan içten yanmalı motorların ısısı üzerinde çalışmışlardır [9].

Ertem vd. yaptıkları çalışmada endüstriyel tav fırınlarında enerji kaybının görüldüğü başlıca kısımları incelemiş, enerji verimlilik analizi yapmış, ısı verimi bulmuş ve kayıpları tespit etmişlerdir. Tavlanan malzemeye aktarılan enerji bulunmuş, birim zamanda tüketilen yakıt ve tavlanan ürün miktarı belirlenerek buradan toplam yakıt tüketimi giren enerji olarak elde edilmiştir. Giren enerji ile ürüne aktarılan enerji arasındaki farkın hangi tür kayıplar olduğu ve miktarları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ısı verim %38,3 olarak bulunmuştur. Kayıplar ise %31,6 ile baca gazı kayıpları, %10,4 ile yüzey kayıpları, %13 ile açıklık kayıpları ve %6,7 ile diğer kayıplar olarak belirlenmiştir [7].

Hiroshi Sakurai et al., yaptıkları çalışmada alevden korunmak için ekonomizer kullanımı hakkında araştırma yapmışlardır. Ekonomizer kullanımının etraftaki hava akışını kontrol etmede başarılı olduğunu, zararlı gaz ve toksinleri uzaklaştırmada etkili olduğunu göstermişlerdir [10].

M.Zaheer-Uddin yaptıkları çalışmada ekonomizer kullanımının çok kaliteli hava perdeleri ile ısı kaybını %5 civarında azaltacağını göstermiştir. Bu

iyileşmesinde ekonomizer ısı kayıp katsayısına ve onun termal zaman sabitine bağlı olduğunu saptamıştır [11].

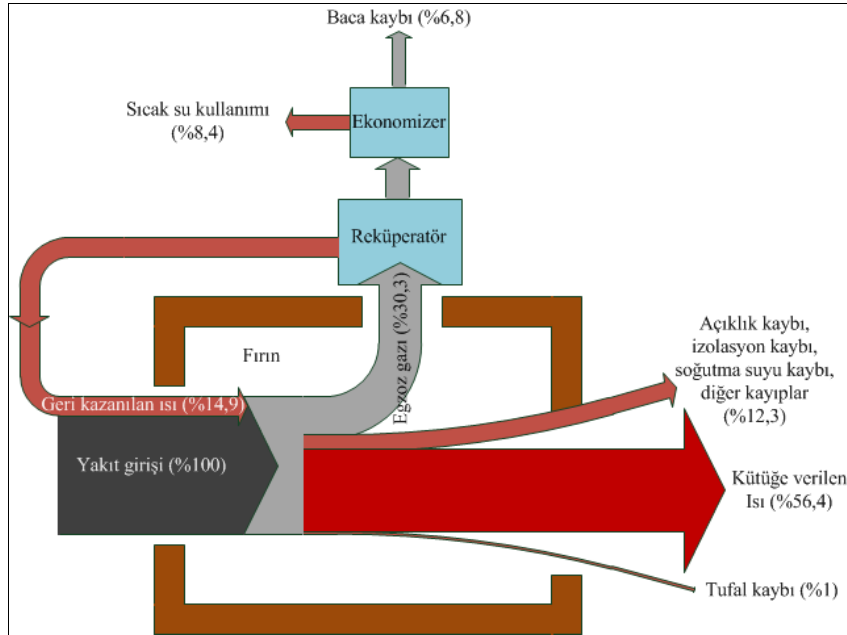
Bu çalışmada ise bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında ekonomizer kullanarak enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılmış, çalışma sonuçları ve kuruluş verileri kullanılarak enerji dengesine yönelik hesaplamalarla birlikte, enerji tasarruf imkanları ve boyutları geri ödeme süreleriyle birlikte belirlenmiştir.



### BÖLÜM 3

#### ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA EKONOMİZER KULLANILARAK ATIK ISININ GERİ KAZANILMASI

Bu çalışmadaki temel konu Şekil 3.1’de görüldüğü gibi tav fırınında reküperatör sonrası bacadan atılan duman gazındaki ısının geri kazanılmasıdır.



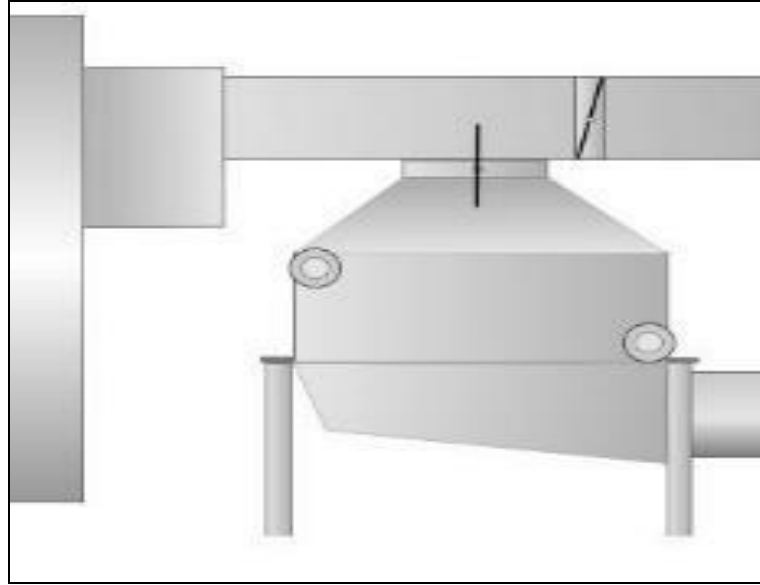
Şekil 3.1. Tav fırınının reküperatör sonrası ekonomizer.

Endüstriyel fırınlar, ısının fırına farklı işlemlere tabi tutulmak üzere şarj edilen yüklere aktarıldığı izole edilmiş kapalı alanlardır. İçerisindeki sıcaklığın 650°C'nin altında olan fırınlara *ocak* adı verilmekte olup ancak fırın ile ocak arasında kesin bir çizgi yoktur. Örneğin kok fırınlarındaki sıcaklık 1478°C'nin üzerindedir [12].

### 3.1. EKONOMİZERİN TANIMI VE ÇEŞİTLERİ

Ekonomizerler, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya veya havaya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılan makinalardır (Şekil 3.2).

Ekonomizerlerde kazanılan ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Geri kazanılacak ısının hava veya bir gaza aktarılması söz konusu olduğunda ise, ekonomizerin yerinde hava ısıtıcıları bulunur.

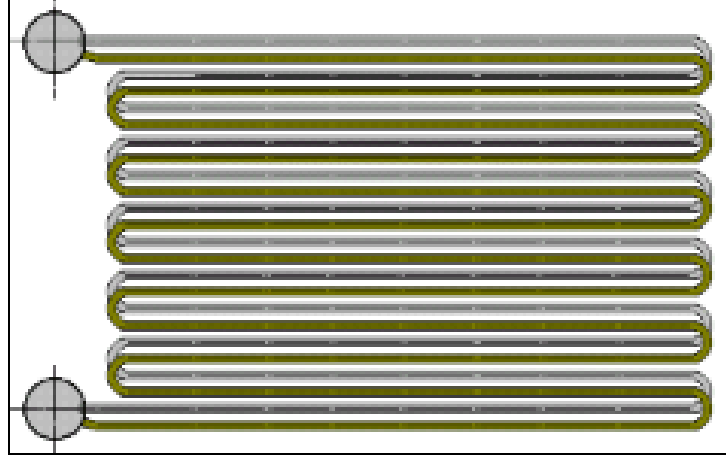


Şekil 3.2. Ekonomizer.

#### 3.1.1. Ekonomizer Çeşitleri

##### 3.1.1.1. Düz veya Firkete Borulu Ekonomizerler

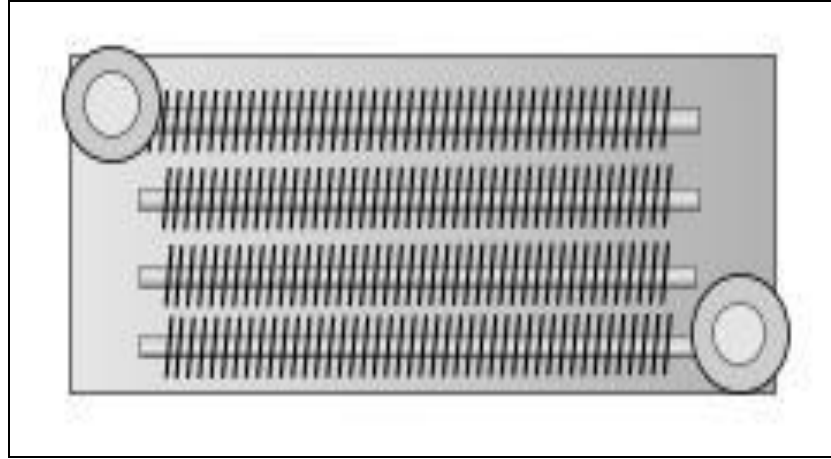
Kömür, fuel oil, vb. yakıtlardan elde edilen nispeten kirli duman gazlarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılırlar. Düşük basınçlarda düz borulu, yüksek basınçlarda firkete (U) borulu tipleri kullanılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Düz veya firkete borulu ekonomizerler.

### 3.1.1.2. Kanatlı Borulu Ekonomizerler

Doğal gaz, LPG, vb. yakıtlardan elde edilen nispeten temiz duman gazları ve sıcak hava gibi ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılırlar. Düşük basınçlarda düz borulu, yüksek basınçlarda firkete (U) borulu tipleri kullanılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kanatlı borulu ekonomizerler.

### 3.1.1.3. Helezon ve Spiral Borulu Ekonomizerler

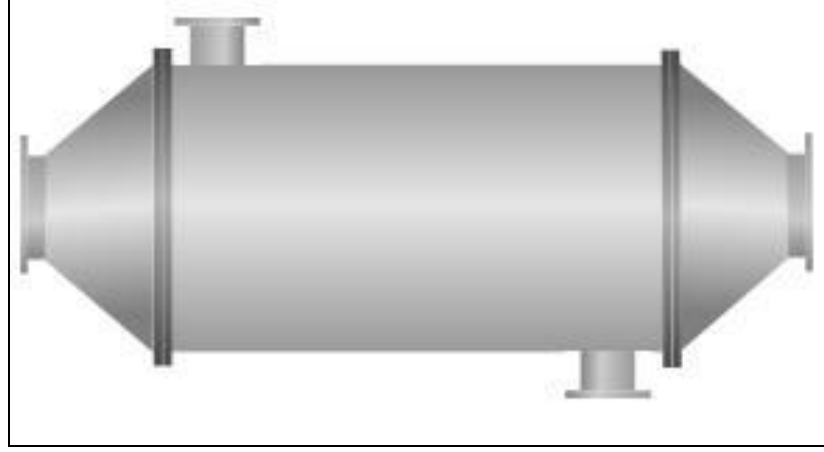
Duman gazlarının kirlilik durumlarından etkilenmeyen yapıda olduklarından, her türlü atık gazlarda kullanılabilirler. Genelde kanal veya baca arası veya içlerine yerleştirilirler (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Helezon ve spiral borulu ekonomizerler.

### 3.1.1.4. Duman Borulu Ekonomizerler

Duman gazlarının kirlilik durumlarından etkilenmeyen yapıda olduklarından, her türlü atık gazlarda kullanılabilirler. Eşanjör tipindedirler. Isı geçiş katsayıları düşük olduğundan yüzeyleri ve kapladıkları alan ve hacim diğer tiplere göre çok yüksektir. Çok özel durumlarda kullanılırlar (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Duman borulu ekonomizerler.

Ekonomizerler, işletme basıncı, yakıt cinsi, sıcaklıklar, gazın kirlilik durumu, işletme koşulları, yerleşim şekli, vb. faktörler dikkate alınarak, dikişli veya dikişsiz siyah borudan, paslanmaz borudan, düz borulu, U firkete borulu, spiral borulu, helezon borulu veya kanatlı borulu olarak dizayn ve imal edilebilirler.

### **3.2. ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA EKONOMİZER KULLANIMININ AMACI**

Endüstriyel tav fırınlarında bacadan gaz ile atılan ısıdan yararlanarak; ısınma ve kullanma amaçlı sıcak su temin etmek ekonomizer kullanımının en önemli amacıdır. Bacadan boşa atılan ısının kullanılması sağlanarak, bu şekilde ısınma ve kullanma suyu için kömür yakıtına harcanan bütçenin kazanılması ve çevre kirliliğinin önlenmesi asıl hedeftir. Ayrıca atık ısının kullanılmasıyla tav fırınında enerji verimliliğinin artırılması söz konusudur.

#### **3.2.1. Duman Gazı Özellikleri:**

Tav fırınında kullanılan yakıt: Kok gazı ve Yüksek fırın gazı, tav fırını çıkışı baca gazı debisi: 30.000 Nm<sup>3</sup>/h (normal çalışma şartlarında), tav fırını çıkışı baca gazı debisi: 40.500 Nm<sup>3</sup>/h (maksimum kapasite ile çalışma durumunda), atık ısı kazanı girişi baca gazı sıcaklığı: 350 °C, atık ısı kazanı çıkışı baca gazı sıcaklığı: 150 °C.

Çizelge 3.1. Duman gazı ölçüm sonuçları.

Duman Gazı Anaalizi	Birim	Miktar
Toz	mg /N m <sup>3</sup>	61.8
	mg / Nm <sup>3</sup>	78.8
Karbonmonoksit (CO)	ppm	0
	mg / Nm <sup>3</sup>	0
Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> )	ppm	226
	mg / Nm <sup>3</sup>	645
Azot Monoksit (NO)	ppm	141
	mg / Nm <sup>3</sup>	189
Azot Dioksit (NO <sub>2</sub> )	ppm	148
	mg / Nm <sup>3</sup>	305

Baca Gazı Bilgileri ve Geri Kazanılacak Isı Miktarı: Baca gazı debisi  $V_{bg} = 30.000$  Nm<sup>3</sup>/h, baca gazı giriş sıcaklığı  $t_{bg} = 350$  °C, baca gazı çıkış sıcaklığı  $t_{min} = 150$  °C, ortalama sıcaklık  $t_{ort} = 250$  °C, kazana Su Giriş Sıcaklığı: 70 °C, kazandan Su Çıkış Sıcaklığı: 90 °C

Kazan ısı transfer yüzey alanı yukarıda verilen debideki duman gazının sıcaklığını 350 °C'den 150 °C'ye düşürecek miktarda seçilmelidir. Ekonomizerde kurum temizliği yapılabilmesi için menhol kapakları bulunmalıdır. Menhol kapakları atık ısı kazanı üstü, altı ve yanlarında birer adet olmalıdır.

Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı yükseldikçe, duman gazları vasıtasıyla çevreye atılan enerji miktarı da artmaktadır. Bacadan atılan bu atık ısının bir kısmının geri kazanılması, kazan veya sistem verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlayacaktır.

Ekonomizerler, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Geri kazanılacak ısının hava veya bir gaza aktarılması söz konusu olduğunda ise hava ısıtıcılar kullanılır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler.

Bir ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, fırın duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına da bağlıdır. Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Ancak korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek için atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği göz önüne alınmalıdır.

Bir ekonomizerde, doğal gaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140 °C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220 °C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır.

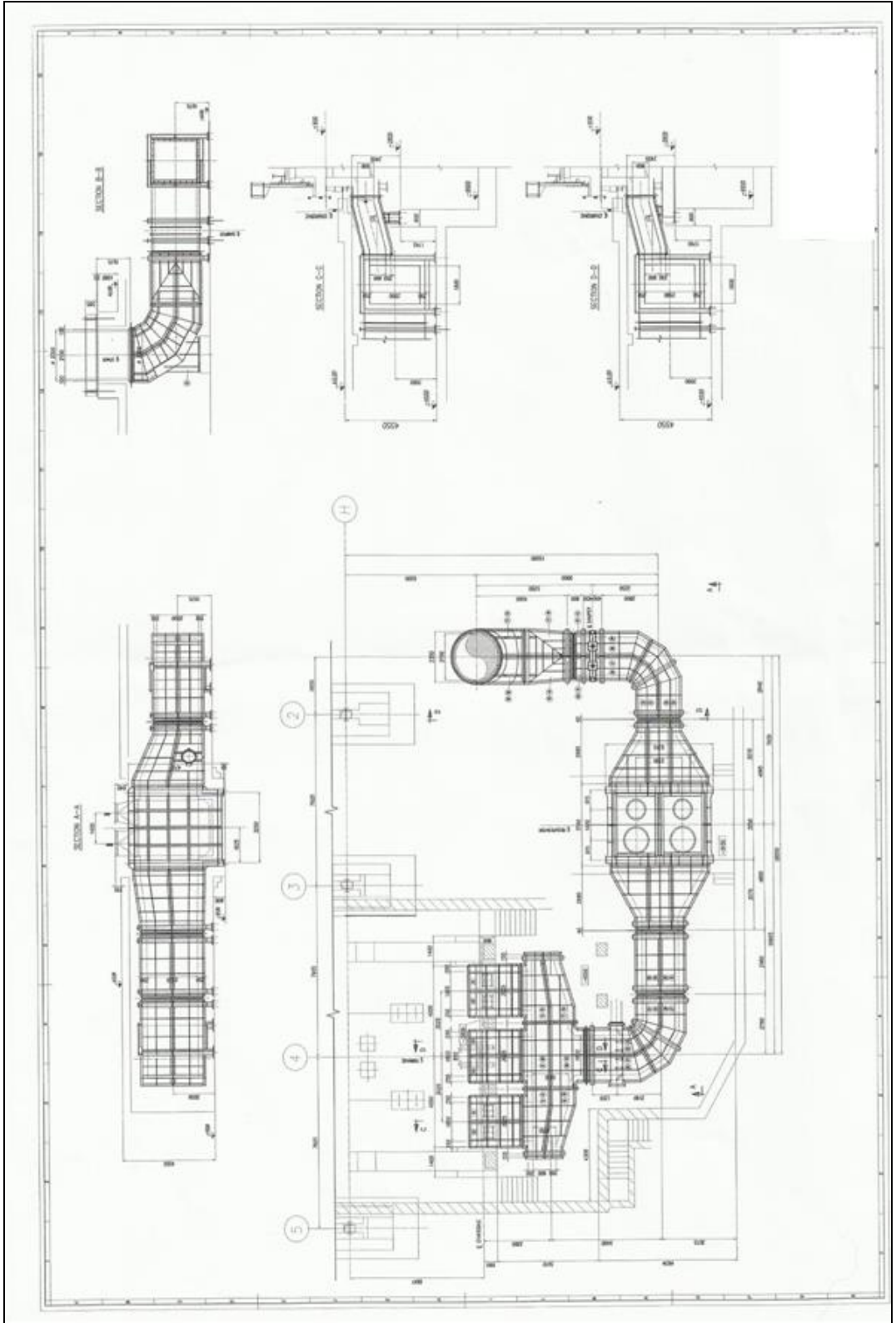
Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılabilecek baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı, fuel oil yakıtlı kazanlarda 180 °C, motorin yakıtlı kazanlarda 150 °C, doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110 °C ye kadar düşürülebilir.

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde ekonomizer kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır: Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 7 arasında verim artışı sağlanır. Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcaması için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir. Kazanılan ısının kazan besleme suyuna verilmesi halinde, kazanın max. yüklerde dahi zorlanmadan çalışması, değişik yüklere daha iyi bir şekilde uyum sağlaması ve kazan veriminin değişik yüklerde nispeten yüksek ve sabit kalması sağlanır. Optimal kapasitesinin üzerinde çalışan veya yapısı itibarıyla düşük verimli olan kazanlara ekonomizer ilavesi ile kazan kapasitesi ve verimi optimum düzeylere çıkarılabilir.

Ekonomizer uygulama alanları, oldukça çeşitlidir. Önemli olan, sistemden geri kazanılan ısının, sistemin çalışma süresi boyunca kullanılmasıdır.







Şekil 3.8. Ekonomizer tasarımı.

### 3.3.1. Klapeler 1

Sistemin acil durumlarda kapatılması için koyulan klapedir. On-off çalışmaktadır. Otomatik açma kapama mekanizması mevcuttur. Sürgülü olmasından dolayı sızdırmaz özelliğe sahiptir. (%99 sızdırmazlık sağlamalı). Yüksek sıcaklıklarda ve tozlu duman gazlarıyla çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Şekil 3.4. Kontrol motoru pnömatik aktüatörlüdür. En: 2000 mm, boy: 2000 mm.



Şekil 3.9. Klapeler 1.

### 3.3.2. Bağlantı Kanalları

Mevcut kanal-Atık Isı kazanı fan ve baca bağlantılarını yapmak için uygun boyut ve özelliklerde imal edilmiştir. Duman kanalları 6 mm siyah sacdan yeterli kesitte ve uygun boyda flaşlı olarak imal edilmiştir. Ayrıca üzerinde sızdırmaz klapeleler ve temizleme kapakları bulunur. İmalatına müteakip bir kat astar boya ile boyandıktan sonra bir katta siyah boya ile boyanacaktır. Bağlantı kanallarının izolasyonu için 50 mm kalınlığında kaya yünü ve üzerine de alüminyum sac kaplanmıştır. Şekil 3.5.



Şekil 3.10. Bağlantı elemanları.



Şekil 3.11. Bağlantı elemanları ve ölçüm sensörleri.



Şekil 3.12. Genleşme tankları.



Şekil 3.13. Panel ve sirkülasyon pompaları.

### 3.3.3. Atık Isı Kazanı

Atık ısı kazanı içindeki akışkanın ayarlanan çıkış sıcaklığını geçmesi durumunda duman gazını bypass edip direkt bacaya gönderen klapedir. Şekil 3.9. Klape St37-2 kalite malzemedен imal edilmiştir. On-off çalışmaktadır. Otomatik açma kapama mekanizması mevcuttur. Yüksek sıcaklıklarda ve tozlu duman gazlarıyla çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Kontrol motoru pnömatik aktüatördür. Klape boyutları aşağıda verilmiştir:



En: 2500 mm, boy: 1500 mm, atık ısı kazanı dik duman borulu tiptir. Atık ısı kazanı kazan sacı HI-HII kalitedir. Atık ısı kazanı boruları St35.8 çelik çekme malzemedir. Atık ısı kazanı izolasyonu için 50 mm kalınlığında kaya yünü kullanılmalı ve üzeri alüminyum sacı kaplanmıştır. Atık ısı kazanı boyutları: çap: 2.800 mm yükseklik: 7.000 mm.



Şekil 3.14. Atık ısı kazanı.

### 3.3.4. Klape 2

Sistemin acil durumlarda kapatılması için koyulan klapedir. On-off çalışmaktadır. Otomatik açma kapama mekanizması mevcuttur. Sürgülü olmasından dolayı sızdırmaz özelliğe sahiptir.(%99 sızdırmazlık sağlamalı). Yüksek sıcaklıklarda ve tozlu duman gazlarıyla çalışabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Kontrol motoru pnömatik aktüatördür. Klape boyutları aşağıda verilmiştir: En: 2000 mm boy: 2000 mm.

### 3.3.5. Armatürler

Sistemde kullanılacak tüm armatür ve pompalar uygun kapasite ve özelliktedir. Alçak basınçlı besleme suyu hattında kullanılacak borular ise St 33 kalitesinde dikişli çelik boru kalitesindedir.

Çizelge 3.2. Armatür özellikleri.

Armatür	Özellik	Adet
Su Giriş-Çıkış Vanası	-	2
Emniyet Vanası	-	3
Boşaltma Vanası	-	1
Manometre	0-6 bar	2
Termometre	0-120 °C	2
Su giriş ve çıkış sıcaklık transmitteri	0-100 °C/0-120 °C	2
Gaz giriş ve çıkış sıcaklık transmitteri	0-400 °C/0-200 °C	2
Otomatik hava alma tahliye ventili	-	2
Manuel hava alma tahliye ventili	-	1

### 3.3.6. Otomasyon

Bir merkezden kumandayı sağlamak için yerleştirme durumuna uygun operatör paneli yapılacaktır. Sisteme Siemens marka bir PLC sistemi kurulacaktır. Sistemde bir adet 5.7 inch ekranlı operatör panel bulunacaktır. Sıcaklık, basınç vs. bilgileri bu ekranda görülebileceği gibi, ayar değerleri de bu operatör panelden girebilecektir. Ayrıca bütün motorlara pano üzerinden manuel olarak kumanda etmek de mümkün olacaktır. Saha enstrümanlarının hepsi Siemens veya muadili olacaktır.

Bu ana parçaların dışında nipel, civata, conta, yaylı rondela, kelepçe, somun vs. gibi ana parçaları birleştirmeye yarayan birçok ufak ekipmanda mevcuttur.

## BÖLÜM 4

### YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

#### 4.1. TEORİK TEMEL VE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Endüstriyel tav fırınına ekonomizer tasarımı ve kullanımının faydalarını ve getirilerini anlamak için haddehanelerde işyeri, ofis, mahal ısıtılmasında ve sıcak su kullanımı için harcanan yakıt miktarını hesaplamak gerekir. Ekonomizer devreye alınıp çalıştırıldığında bu ısınma ve sıcak su kullanım için harcanan kömürün harcanmadığı (dolayısıyla çevrenin kirletilmediği) ve doğrudan atılan ısıdan yararlanarak bu enerjinin sağlandığı görülmektedir Kazanç-kayıp işlemleri yapıldıktan sonra yeni durumun verimi hesaplanır.

##### 4.1.1. Isı Denklemi

Baca gazından aktarılan enerji ise şu şekilde hesaplanır:

$$Q_E = V_g \cdot C_p \cdot \gamma_g \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Burada  $V_g$  baca gazı debisi,  $C_p$  baca gazı özgül ısısı,  $\gamma_g$  baca gazı özgül ağırlığı,  $\Delta T$  baca gazı giriş-çıkış sıcaklık farkıdır.

#### 4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Bir sanayinin tav fırınında enerji denkliği kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve bacadan atılan atık ısının miktarı hesaplanarak geri kazanılması için ekonomizer tasarımı yapılmak için değerler tespit edilmiştir. Çalışmalarda ekonomizer tasarımının ana verilerini oluşturacak atık duman ile ilgili, debi, basınç, sıcaklık ve yanma gazı ile ilgili değerler, sistem üzerindeki mevcut sayaçlardan ve Scada(HMI) ekranlarından okunmuştur. Alınan değerler kullanılarak geri kazanılması düşünülen

ısı enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca kurulan enerji dengesi ile tav fırının verimi de hesaplanmıştır.

#### 4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları

Haddehane tav fırınında yakıt olarak kok gazı ve yüksek fırın gazı (YFG) kullanılmaktadır. Kullanılan yakıt debileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan yakıt debileri.

Kok Gazı (Nm <sup>3</sup> /s)	4637
Yüksek Fırın Gazı (Nm <sup>3</sup> /s)	580

Haddehane tav fırınına beslenen kok gazı ve yüksek fırın gazı analiz değerleri sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kok gazı analiz değerleri.

Kok Gazı Analiz Değerleri (kütlece %, orijinal temel)	
CO <sub>2</sub>	3,01
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,62
O <sub>2</sub>	0,37
CO	6,68
H <sub>2</sub>	57,75
CH <sub>4</sub>	22,28
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,62
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,11
N <sub>2</sub>	6,87
Inert	0,69
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	16.747
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	18.928



Çizelge 4.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.

Yüksek Fırın Gazı Analiz Değerleri (kütlece %, orijinal temel)	
CO <sub>2</sub>	18,64
CO	23,17
H <sub>2</sub>	2,08
N <sub>2</sub>	56,11
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	3.152
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	3.194

Haddehane tav fırını için yanma hesapları yapılmış ve sonuçlar kok gazı ve yüksek fırın gazı için sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını kok gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.

Kok Gazı			Yanma Ürünleri (Nm <sup>3</sup> /h)							
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Argon	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>	Inert	Diğer
CO <sub>2</sub>	3,01	0,00	139,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,62	225,36	150,56	0,00	839,90	10,00	169,96	0,00	0,00	0,11
O <sub>2</sub>	0,37	-17,16	0,00	0,00	-63,94	-0,76	-0,76	0,00	0,00	-0,01
CO	6,68	154,88	309,97	0,00	577,22	6,88	13,55	0,00	0,00	0,07
H <sub>2</sub>	57,75	1338,93	1,92	0,00	4990,16	59,44	2795,02	0,00	0,00	0,64
CH <sub>4</sub>	22,28	2066,25	1036,08	0,00	7700,84	91,72	2247,03	0,00	0,00	0,99
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,62	100,62	57,64	0,00	375,02	4,47	95,05	0,00	0,00	0,05
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,11	12,75	10,22	0,00	47,53	0,57	6,22	0,00	0,00	0,01
N <sub>2</sub>	6,87	0,00	0,00	0,00	318,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inert	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	0,00
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	3881,63	1705,97	0,00	14785,3	172,31	5326,06	0,00	32,00	1,85
<b>Fazla hava</b>			2,83	0,00	7368,62	87,77	172,98	1977,11	0,00	0,94
<b>Egzoz Gazı Bileşimi % (ob):</b>			5,40	0,00	70,03	0,82	17,38	6,25	0,10	0,01

Çizelge 4.5. Haddehane tav fırını yüksek fırın gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.

Yüksek Fırın Gazı			Yanma Ürünleri (Nm <sup>3</sup> /h)						
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Argon	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>	Diğer
CO <sub>2</sub>	18,64	0,00	108,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	23,17	67,19	134,48	0,00	250,43	2,98	5,88	0,00	0,03
H <sub>2</sub>	2,08	6,03	0,01	0,00	22,48	0,27	12,59	0,00	0,00
N <sub>2</sub>	56,11	0,00	0,00	0,00	325,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Toplam</b>	100	73,23	242,60	0,00	598,35	3,25	18,47	0,00	0,03
<b>Fazla hava</b>			0,11	0,00	288,64	3,44	6,78	77,45	0,04
<b>Egzoz Gazı Bileşimi % (ob)</b>			19,59	0,00	71,58	0,54	2,04	6,25	0,01

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'teki veriler kullanılarak haddehane tav fırınının teorik egzoz gazı, teorik yakma havası, fazla hava, toplam teorik egzoz gazı, teorik fırına giren hava ve hava fazlalık katsayısı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı.

Teorik Egzoz Gazı (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	22886
Teorik Yakma Havası (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	19224
Fazla Hava (Nm <sup>3</sup> /h)	9987
Teorik Toplam Egzoz Gazı (Nm <sup>3</sup> /h) (ob)	32873
Teorik Fırına Giren Hava (Nm <sup>3</sup> /h)	29210
Fazla Hava Yüzdesi (%)	51,95

#### 4.2.2. Haddehane Tav Fırını Enerji Denkliği

Ölçülen ve hesaplanan değerler kullanılarak haddehane tav fırını için enerji denkliği kurulmuş ve sonuçlar sırasıyla Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Haddehane tav fırını toplam enerji denkliği.

SİSTEMİN TOPLAM ENERJİ VE KÜTLE DENKLİĞİ						
Girişler	Debi (Nm <sup>3</sup> /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	c <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> K)	Q (kJ/h)	%
Yüksek Fırın Gazı (yanma ısısı)	580			3152,66	1828543,03	2,22
Yüksek Fırın Gazı (duyulur ısı)	580		35,00	1,38	27963,64	0,03
Kok Gazı (yanma ısısı)	4637			16747,20	77656766,40	94,29
Kok Gazı (duyulur ısı)	4637		25,00	1,36	157256,21	0,19
Yakma Havası (duyulur ısı)	29210	20,57	20,00	1,30	758736,08	0,92
Soğutma Suyu	503*		24,00	4,19**	50543,05	0,06
Kütük	70846*		55,00	0,44**	1716232,12	2,08
<b>Toplam</b>					94123450,80	100,00
Çıkaşlar	Debi (Nm <sup>3</sup> /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	c <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> K)	Q (kJ/h)	%
Baca Gazı	32873		593	1,57	30605964,36	32,52
Kütük	69571*		1.077	0,68**	50977451,03	54,16
Soğutma Suyu	503*		29,00	4,19**	61072,85	0,07
Tufal Kaybı (%1,8 kabul)	1275,23*		1077,00	0,68**	934414,21	1,13
Diğer Kayıplar (Açıklık kaybı, duvar kaybı, vd.)					11691375,23	14,20
<b>Toplam</b>					94123450,80	100,00
*kg/h, **kJ/kg°C						

#### 4.2.3. Haddehane Tav Fırını Verimi

Haddehane tav fırını verimi; kütüğe verilen ısı miktarı ve toplam yakıt ısısı kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Haddehane tav fırını verimi.

Kütüğe verilen ısı $Q_k$ (kJ/h)	49 261 218
Toplam yakıt ısısı $Q_y$ (kJ/h)	79 670 525
Verim (% $Q_k / Q_y$ )	61,83

#### 4.2.4. Ekonomizer Tesis Edilmesi ile Yapılacak Tasarruf Miktarı

Haddehane tav fırınına ekonomizer tesis edilmesi durumunda yapılacak enerji tasarrufu miktarı Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Haddehane tav fırınına ekonomizer tesis edilmesi ile yapılacak tasarruf miktarı.

Baca gazı debisi (Nm <sup>3</sup> /h)	30000
Baca gazı ekonomizer giriş sıcaklığı (°C)	350
Baca gazı ekonomizer çıkış sıcaklığı (°C)	150
$c_p$ (kJ/kg°C); $\gamma_g$ (kg/Nm <sup>3</sup> )	1;1,226
Enerji tasarrufu (kJ/h)	7 391 544

#### 4.2.5. Ekonomizer ile Yapılacak Isı Tasarruf Miktarının Hesaplanması

Baca gazı debisi  $V_g = 30.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , baca gazı giriş sıcaklığı  $t_g = 350 \text{ °C}$ , baca gazı çıkış sıcaklığı  $t_c = 150 \text{ °C}$ , ortalama sıcaklık  $t_{ort} = 250 \text{ °C}$ , ortalama Sıcaklıkta baca gazı ısınma ısısı  $C_p = 1 \text{ kJ/kg°C}$ ;  $\gamma_g = 1,226 \text{ Kg/Nm}^3$

Toplam ısı tasarrufu,

$$Q_E = V_g \cdot C_p \cdot \gamma_g \cdot \Delta T = 30000 \cdot 1 \cdot 1,226 \cdot 200 = 7391544 \quad (4.2)$$

kJ olarak hesaplanır.

Çizelge 4.10. Bacadan toplam ısı kazancı.

Q (kJ)
7.391.544

#### 4.2.6. Ekonomizer ile Isı Geri Kazanım Tasarruf Miktarı

Yıllık toplam kazanılabilecek ısı miktarı 7391544 kJ ve 1 kg kömür = 24480 kJ = 0.23 EUR ile buradan potansiyel kazanılabilecek ısı kaybının kömür eşdeğeri 2645000 kg/yıl olarak bulunur. Yıllık 2645000 kg olan kömür sarfiyatının euro olarak bedeli ise 608350 EUR dur.

#### 4.2.7. Ekonomizer ile İşgücü kazancı

Kömür hazırlama ve kazan yakıp söndürme işleri ile görevli her vardiya 2 kişi olmak üzere 6 kişinin yıllık toplam maliyeti yaklaşık  $6 \times 12 \times 4000 = 288000$  TL = 125000 EUR dur. Bu işgücü diğer ünitelerde kullanılacak ve kömür hazırlama için ilave işgücü ödemesi yapılmayacaktır. Ayrıca bu ortamda oluşabilecek yanmanın, çevre kirliliğinin (hava kirliliği ve toprak kirliliği) yaralanmanın vs. gibi iş kazalarının da önüne geçilerek maddi ve manevi tazminatlarında önüne geçilebilir.

#### 4.2.8. Ekonomizer ile Elektrik Tüketimi Maliyeti

Yıllık 8760 saatlik fan motorlarının çalışma süresi vardır. Motor yaklaşık 37 kWh dır. Bu da yıllık 324120 kW olur. 1 kW elektrik = 0.08 EUR olarak hesaplandığından yıllık yaklaşık 25930 EUR elektrik enerjisi maliyeti olur. 2 Adet 5 kWh'lık sirkülasyon pompası ile yıllık tüketim 43800kW, bu da 3504 EUR olarak hesaplanır. Toplam elektrik gideri 29434 EUR/Yıl dır.

#### 4.2.9. Ekonomizer Yatırım Maliyeti

Ekonomizerin yatırım maliyeti 190000 EUR dur.

#### 4.2.10. Geri Ödeme Süresi

Toplam maliyet, elektrik sarfiyatı ve yatırım maliyetinden kaynaklanmaktadır. Bu da toplam 219434 EUR dur. Toplam kazanç ise yakıt tasarrufu ve işgücü kazancıdır. Bu da toplam yaklaşık 733350 EUR dur. Yaklaşık olarak 3,6 ay gibi bir sürede yapılan yatırım kendisini karşılamaktadır. Yapılan maliyet, tasarruf miktarları ve geri ödeme süresi Çizelge 4.11’de görülmektedir.

Çizelge 4.11. Maliyet, tasarruf ve geri ödeme tablosu.

	Maliyet (EUR/yıl)	Tasarruf (EUR/yıl)	Geri Ödeme Süresi (ay)
Ekonomizer	190000	733350	-----
Elektrik kullanımı	29434	-----	-----
Bakım-onarım ve üretim	-----	-----	-----
TOPLAM	219434	733350	3,6

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında ekonomizer ile enerjinin daha verimli kullanımı ile ilgili çalışma yapılmıştır. Ölçüm ve kuruluş verileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış, enerji dengeleri kurulmuş ve tasarruf potansiyelleri ortaya konmuştur. Hesaplamalar sonucunda tespit edilen verimin ekonomizer daha verimli kullanarak enerji kaynaklarından da (Elektrik, kömür) tasarruf yapıldığı belirlenmiştir.

Buna göre endüstriyel tav fırınında ekonomizer tasarımı ve kullanımının sonuçları şunlardır:

Haddehane tav fırınında bacadan atılan atık ısı ekonomizer kullanılarak geri kazanılmaktadır.

Ekonomizer tasarımı ve kullanımı için 190000 EUR kadar bir yatırım gerçekleştirilmiştir.

Ekonomizer kullanılarak ısıtılması düşülen mahaller ve sıcak su ihtiyacı için elektrik ve kömür giderleri yıllık 733350 EUR olmaktadır. Bu maliyet ortadan kalktığı gibi, kömürün çevre kirliliği de ortadan kalkmış olmaktadır.

Haddehane tav fırınında ekonomizer kullanarak daha sağlıklı ve iş güvenliği (İSG) açısından daha güvenli bir ortamda çalışılabilmesi sağlanmıştır.

Haddehanede tav fırınında ekonomizer kullanımı ile oluşan toplam kazanç yıllık 513916 EUR dur.

Haddehane tav fırınında ekonomizer geri ödeme süresi 3,6 aydır.

Sistem 90/70°C giriş çıkış su sıcaklığı ve 75 m<sup>3</sup>/h su debisiyle çalışmaktadır.

$$Q = m.c.(T_g - T_ç) = 75.000 \text{kg/s} \cdot 4,1868 \text{kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 20^\circ\text{C} = 6.280.200 \text{kJ}$$

Ekonomizerin verimi =  $6.280.200 / 7.391.544 = 0,84 = \%84$  olarak hesaplanmıştır.



## KAYNAKLAR

1. Ertem, M. E., Şen, S., Akar, G., Pamukçu, C., ve Gürgen, S., “Energy balance analysis and energy saving opportunities for erdemir slab furnace”, *Energy Sources, Part A*, 32: 979-994 (2010).
2. Terzi, Ü. K. ve Baykal, R., “Efficient and effective use of energy: a case study of TOFAS”, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1 (55): 29-33 (2011).
3. Xu, C. and Cang, D., “A brief overview of low CO<sub>2</sub> emission technologies for iron and steel making”, *Journal of Iran and Steel Research*, 17 (3): 1-7 (2010).
4. Nogami, H., Yagi, J., Kitamura, S. and Austin, P. R., “Analysis on material and energy balances of ironmaking systems on blast furnace operations with metallic charging, top gas recycling and natural gas injection”, *ISIJ International*, 46 (12): 1759-1766 (2006).
5. Tütünoğlu, Y., Güven, A., ve Öztürk, İ. T., “Cam temperleme fırınında enerji analizi”, *III. Enerji Verimliliği Kongresi*, Kocaeli, 153-166 (2011).
6. Topbaş, M. A., “Endüstri Fırınları, Cilt 1”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-16 (1991).
7. Ertem, G., Çelik, B., ve Yeşilyurt, S., “Endüstriyel tav fırınlarında ısı dengeliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi”, *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, 1-8 (2008).
8. Dexin W., Ainan B., Walter K., and William L., “Coal power plant flue gas waste heat and water recovery”, *November* 10-15 (2011).
9. Daniela G., Konstantinos S., Sotirios K., and Hartmut S., “Waste heat recovery from a landfill gas-fired power plant”, *November*, 12-16 (2011).
10. Sakurai, H., “Researches on air shutter for fire defence” *Fire Safety Journal*, 2 (1): 9-16 (1980).
11. Uddin M. Z., “Dynamic effects of thermal shutters” *Building and Environment*, 25 (1): 33-35 (1990).
12. Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J. and Garvey, J. R., “Industrial furnaces, 6<sup>th</sup> edition”, *John Wiley and Sons*, USA, 1 (2004).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Hüseyin ÇITIR, 1972 yılında Karabük'te doğdu. İlkokulu Karabük Eskipazar'da, Ortaokulu Ankara Çubuk'ta ve Lise öğrenimini Karabük Eskipazar'da tamamladıktan sonra 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Askerlik görevini 1997-1999 yılları arasında asteğmen olarak tamamladı. 1999-2003 yılları arasında özel şirketlerde çalıştıktan sonra 2003 yılı Ekim ayında Kardemir AŞ Ray Profil Haddehanesinde Kalibre ve Yolluk Mühendisi olarak görev aldı ve halen Kalibre ve Yolluk Başmühendisi olarak devam etmektedir. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Hüseyin ÇITIR, evli ve bir çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Ergenekon Mah. Ergenekon Cad. No:38/6 KARABÜK

Tel : 0 532 4085949

E-posta : hcitir@kardemir.com