

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ENDÜSTRİYEL BOYAHANE TESİSLERİNDE BACA GAZI
ATIK ISISININ GERİ KAZANIM ANALİZİ VE BİR
UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAMDİ LÜTFÜ UYSAL

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ENDÜSTRİYEL BOYSAHANE TESİSLERİNDE BACA GAZI
ATIK ISISININ GERİ KAZANIM ANALİZİ VE BİR
UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAMDİ LÜTFÜ UYSAL

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Doç. Dr. Nadir İLTEN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

HAMDİ LÜTFÜ UYSAL tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL BOYAHANE TESİSLERİNDE BACA GAZI ATIK ISISININ GERİ KAZANIM ANALİZİ VE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

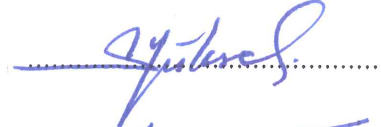
Jüri Üyeleri

İmza


Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN



Üye
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL



Üye
Doc. Dr. Nadir İLTEN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**ENDÜSTRİYEL BOYAHANE TESİSLERİNDE BACA GAZI ATIK ISISININ
GERİ KAZANIM ANALİZİ VE BİR UYGULAMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HAMDİ LÜTFÜ UYSAL
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLŞEN YAMAN)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Enerji, dünya ülkelerinin ekonomik, siyasi ve sosyal gelişimini etkileyen ana unsurların başında gelmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerden dolayı enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bu artış ile ülkeler enerjiye kolay, ucuz ve kesintisiz bir biçimde ulaşmak istemektedirler. Böylece ülkeler alternatif enerji kaynaklarına ve enerjiyi daha verimli kullanabilecekleri sistemlere yönelmişlerdir. Ülkemizde de bu tip sistemler için uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Özellikle enerji tüketimi fazla olan sanayi sektöründe enerjiyi daha verimli kullanmak için baca gazı atık ısısının geri kazanımı bu uygulamaların başında gelmektedir. Bu çalışmada otomotiv sektöründe hizmet veren Grammer A.Ş. fabrikasında enerji verimliliğini arttırmak için boya kurutma fırını atık ısısından yararlanarak sıcak su eldesi için bir ekonomizer sistemi tasarlanmış olup uygulaması yapılarak sonuçları ve faydaları değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Atık ısı geri kazanımı, enerji verimliliği, ekonomizer uygulaması.

ABSTRACT

RECOVERY ANALYSIS OF FLUE GAS WASTE HEAT AT INDUSTRIAL PAINTING FACILITIES AND AN APPLICATION

MSC THESIS

HAMDİ LÜTFÜ UYSAL

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. GÜLŞEN YAMAN)

BALIKESİR, JUNE 2019

Energy is one of the main factors affecting the economic, political and social development of the countries of the world. Demand for energy, especially due to increased population, industrialization and technological developments in developing countries, is increasing steadily. With this increase, countries want to achieve energy in an easy, cheap and uninterrupted manner. Thus, countries have shifted to alternative energy sources and systems where they can use energy more efficiently. In our country, applications for such systems are becoming widespread. Especially in the industrial sector, where energy consumption is high, recovery of the waste gas waste heat is at the beginning of these applications in order to use energy more efficiently. In this study, In this study, in order to increase energy efficiency in the Grammer factory which serves in the automotive sector, to improve energy efficiency, an economizer system has been designed and applied to utilize the paint drying oven waste to heat water then systems results and benefits was investigated.

KEYWORDS: Waste heat recovery, energy efficiency, economizer implementation.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
Sayfa	iii
SEMBOL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE ENERJİNİN GENEL DURUMU VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ	3
2.1 Türkiye Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimliliği	9
3. ATIK ISI VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ	11
3.1 Enerji Verimliliği.....	12
3.2 Atık Isıdan Yararlanma ve Geri Kazanım Yöntemleri	13
3.2.1 Sıvı Akışkanlardan Atık Isı Geri Kazanımı	14
3.2.2 Gazlardan Atık Isı Geri Kazanımı.....	15
3.3 Literatür Araştırması.....	15
4. ISI DEĞİŞTİRİCİLER VE ATIK ISI GERİ KAZANIMINDA KULLANIMI	17
4.1 Isı Değiştiriciler	17
4.1.1 Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması	18
4.2 Reküperatörler	19
4.3 Rejeneratörler	20
4.4 Borulu Isı Değiştiricileri.....	20
4.5 Atık Isı Kazanı	21
4.6 Ekonomizerler	21
4.6.1 Düz veya Dirsek Dönüş Borulu Ekonomizerler	24
4.6.2 Helezon ve Spiral Borulu Ekonomizerler	25
4.6.3 Kanatlı Borulu Ekonomizerler	25
4.6.4 Duman Borulu Ekonomizerler	26
5. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN ISIL HESAPLAMALARI	27
5.1 Akış Şekline Göre Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması	27
5.2 Isı Değiştiricilerin Isıl Hesaplamaları.....	29
5.2.1 Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesabı	30
5.2.2 Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkının Kullanılması	33
6. MATERYAL VE YÖNTEM	35
6.1 Grammer Fabrikasına Genel Bakış	36
6.2 Doğalgaz'ın Özellikleri ve Yanması	37
6.3 Enerji Verimliliği ve Performans Göstergeleri	38
6.4 İşletmenin Enerji Tüketimi Analizleri.....	39
6.5 Fırınlarda Enerji Denklemleri	41
6.5.1 Fırınlarda Enerji Denkliği	42
6.6 Deneysel Kullanılan Ölçüm Cihazı Kalibrasyonu	44
6.7 Grammer Fabrikasında Boya Kurutma Fırını İncelemeleri.....	44
6.8 Grammer Fabrikasında Boya Fırını İncelemeleri.....	46
6.9 Grammer Fabrikasında Sıcak Su Sistemi	46

6.10	Enerji Geri Kazanımı için Isıtma Yüğü Hesaplamaları	49
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	55
8.	KAYNAKLAR.....	57
9.	EKLER	61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: 1990-2040 ülkelerde enerji ihtiyacı değişimi tahmini [8]	4
Şekil 2.2: 1990-2010 Yılları birincil enerji arzı ve 2035 yılı projeksiyonu [9]	5
Şekil 2.3: 2014 Türkiye birincil enerji talebi [12]	8
Şekil 2.4: 2014 Türkiye toplam nihai enerji tüketimi sektörel dağılımı [12]	9
Şekil 3.1: 1990-2014 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı [18]	12
Şekil 3.2: 2017 yılı kaynak bazında üretim değerleri (MWh) [19]	13
Şekil 4.1: Isı değiştiricilerin sınıflandırılması [27]	18
Şekil 4.2: Reküperatör şematik gösterimi [27]	19
Şekil 4.3: Rejeneratörün şematik gösterimi [27]	20
Şekil 4.4: Tipik bir ekonomizer uygulaması yerleşim şeması [30]	22
Şekil 4.5: Düz veya dirsek dönüş borulu ekonomizer şematik gösterimi [30]	25
Şekil 4.6: Helezon ve spiral borulu ekonomizer [30]	25
Şekil 4.7: Kanatlı borulu ekonomizer şematik gösterimi [30]	26
Şekil 4.8: Duman borulu ekonomizer şematik gösterimi [30]	26
Şekil 5.1: Tek geçişli ısı değiştiricilerin akış şekillerine göre sınıflandırılması [27] ..	28
Şekil 5.2: Ters ve paralel akımlı ısı değiştiricilerde akışkan sıcaklığı değişimi [34] ..	28
Şekil 5.3: Kanatsız borulu ısı değiştiricisi [34]	32
Şekil 6.1: 2015-2016-2017 doğalgaz tüketiminin aylık değişimi [37]	39
Şekil 6.2: 2015-2016-2017 yıllarına ait aylık enerji maliyetleri [37]	40
Şekil 6.3: 2017 yılı enerji maliyetleri % payları [37]	40
Şekil 6.4: 2016 yılı enerji maliyetleri % payları [37]	40
Şekil 6.5: 2015 yılı enerji maliyetleri % payları [37]	41
Şekil 6.6: Boya kurutma fırın brülör etiketi [37]	45
Şekil 6.7: Boya kurutma fırın bacası ölçümü [37]	45
Şekil 6.8: Boya kurutma fırın bacası ölçümü [37]	46
Şekil 6.9: Aldağ marka Süngerhane ortam kliması sıcak su bransmanı [37]	47
Şekil 6.10: Çinko fosfat banyosu üzeri [37]	47
Şekil 6.11: Termal kamera ölçümleri [37]	48
Şekil 6.12: Sıcak su ultrasonik debi ölçümü [37]	49
Şekil 6.13: Sıcak su ultrasonik debi ölçümü sonucu [37]	49
Şekil 6.14: Ekonomizer uygulanacak sistem şeması [37]	53

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi (Mtep) [9]	5
Tablo 2.2: Ülkemizin birincil enerji kaynakları rezervi 2015 [11]	7
Tablo 2.3: Birincil enerji kaynaklarının yerli üretim miktarı (Kilo TEP) [11]	7
Tablo 2.4: Birincil enerji kaynakları arz miktarı (Kilo TEP) [11]	8
Tablo 3.1: Borulu ve plakalı ısı değıştiricilerinin uygulama alanları	15
Tablo 5.1: Bazı akışkanlarda kirlilik faktörleri [35].	31
Tablo 6.1: Doğalgaz Bileşenlerinin Genel Oranları [36].	37
Tablo 6.2: Grammer fabrikası 2017 doğal gaz tüketimleri.	50
Tablo 6.3: Boya kurutma fırını enerji geri kazanım hesap tablosu.	51
Tablo 6.4: Boya fırını enerji geri kazanım hesap tablosu.....	52

SEMBOL LİSTESİ

M	:	Kütlesel Debi
H	:	Akışkanların Entalpi Değeri
m_h	:	Sıcak Akışkan Kütlesel Debisi
m_c	:	Soğuk Akışkan Kütlesel Debisi
Q	:	Isı Değiştiriciden Geçen Isı
U	:	Toplam Isı Transfer Katsayısı
ΔT_m	:	Akışkanlar Arasındaki Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı
R_f	:	Kirlilik Faktörü
η_f	:	Tek Bir Kanat Etkinliği
L	:	Kanat Uzunluğu
T	:	Kanat Kalınlığı
h	:	Akışkan Entalpisi
B_h	:	Saatlik Yakıt Tüketimi
HU	:	Yakıt Alt Isıl Değeri
μ	:	Yanma Verimi
C_p	:	Malzeme Özgül Isınma Isısı
U	:	Isı Transfer Katsayısı
U_r	:	Radyasyonla Isı Transfer Katsayısı
U_c	:	Konveksiyonla Isı Transfer Katsayısı
E	:	Yüzey Emissivite Katsayısı
V_h	:	Teorik Özgül Duman Gazı Miktarı
A	:	Akışkanlar Arası Isı Geçiş Yüzey Alanı

KISALTMALAR LİSTESİ

Mtep	:	Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
BTU	:	İngiliz Termal Birimi
MW	:	Megawatt
KW	:	Kilowatt
USD	:	Amerikan Doları
OECD	:	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
IEA	:	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, her konuda bana destek olan ve büyük bir sabırla bana katlanan eşime ve tez çalışması esnasında her türlü desteği sağlayarak yardımcı olan değerli arkadaşlarıma, hocalarıma ve Grammer A.Ş. yöneticileri ve çalışanlarına, özellikle de bilgisi, hoşgörüsü ve yol göstericiliği ile çalışmalarımıza büyük katkısı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gülşen Yaman'a ve değerli hocam Prof.Dr. Bedri YÜKSEL'e teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmalarının en temel unsurlarından biri, enerjidir. Bundan dolayı ülkeler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve uygun yollardan bulmak ve bu enerji kaynaklarını da kesinlikle çeşitlendirmek durumundadırlar. Birçok ülkenin enerji politikalarına göre, enerji verimliliğini artırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak ve enerji tasarrufunu sağlamak en önemli unsurlardandır. Yani enerjiyi en verimli şekilde kullanabilecek sistemler geliştirmek, ülkelerin enerji politikalarının başında gelmektedir.

Artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ile enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bunun yanı sıra enerji tüketiminin olabilecek en düşük seviyede tutulması, enerjinin en verimli ve tasarruflu şekilde kullanılması da zaruridir.

Enerji piyasalarında;

- Enerjinin üretim, alt yapı ve dağıtım maliyetleri fazladır. İlave olarak, enerji projeleri plan, proje ve yatırım süreçleri uzun sürelerle, büyük maliyetlere ve ileri teknolojiye ihtiyaç duyulan yatırımlardır.
- Petrol ve doğal gaz gibi ısı değeri yüksek fosil yakıtların zaman içinde tükenmesi bilinen bir gerçektir. Bu sebeple bu fosil yakıtların stratejik öneminin gidecek artacağı, yerlerini dolduracak yeni enerji kaynakları geliştirilmediği sürece de, fiyatları sürekli artan bir eğilim göstereceği kaçınılmazdır.
- Enerji kaynakları bakımında fakir sayılabilecek ülkemizde, dışa bağımlılık, tüketimin artmasıyla birlikte buna bağlı olarak zamanla artacaktır.
- Enerji kaynaklarının çoğu, üretimi ve tüketimi sırasında çevreyi olumsuz etkileyen nitelikleri barındırır. Çevresel sorunların önlenmesi ve azaltılması ise önemli bir maliyet gerektirmektedir. Global kirlenme, uluslararası arenada ortak politikalar oluşturulması gereken temel konuların başında gelmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, sürdürülebilir bir kalkınma yaklaşımı içinde, ekonomik ve sosyal gelişimi destekleyecek, çevreye zarar vermeyecek, düşük miktar ve maliyette enerji tüketimi hedeflemek gerekmektedir.

Günümüzde, kişi başına düşen enerji tüketimi artık bir gelişmişlik belirtisi olmaktan çıkmış; amaç, kişi başına düşen enerji tüketimini artırmak değil, bir birim enerji tüketimi ile en fazla üretimi ve refahı oluşturmaktır. Son yıllarda, hızla artan dünya nüfusu ve sanayileşmeden dolayı, dünya genelinde enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu enerji talepleri daha çok fosil yakıtlardan (kömür, petrol ve doğalgaz) karşılanmaktadır [1]. Fosil enerji sağlayıcıları ya da geleneksel enerji kaynakları olarak belirtilen bu yakıtlar normal hayatımız içinde birçok alanda fazlaca kullanılmaktadır. Özellikle de son iki asırdır fosil kaynaklar hem maliyetlerinin uygun olmaları hem de üretiminde kullanılan teknolojilerdeki ilerlemeler sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervleri ise giderek azalmaktadır. Ayrıca fosil yakıt kullanımının küresel ısınmaya büyük ölçüde etki eden karbondioksit (CO₂) salınımına sebep olduğu bilinmektedir. Yoğun hava kirliliğinin yanında milyarlarca dolar zarara neden olan sel/fırtına gibi doğal afetlerin fark edilir biçimde artmasına sebep olmaktadır. Fosil yakıtların çevreye verdiği bu zararların yanında, dışa bağımlı bir kaynak olması ve günün birinde tükeneceği göz önüne alındığında, farklı enerji kaynaklarına ya da mevcut sistemlerden enerji tasarrufu yapılabilen, etkin ve verimli sistemler tercih edilmektedir.

2. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE ENERJİNİN GENEL DURUMU VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

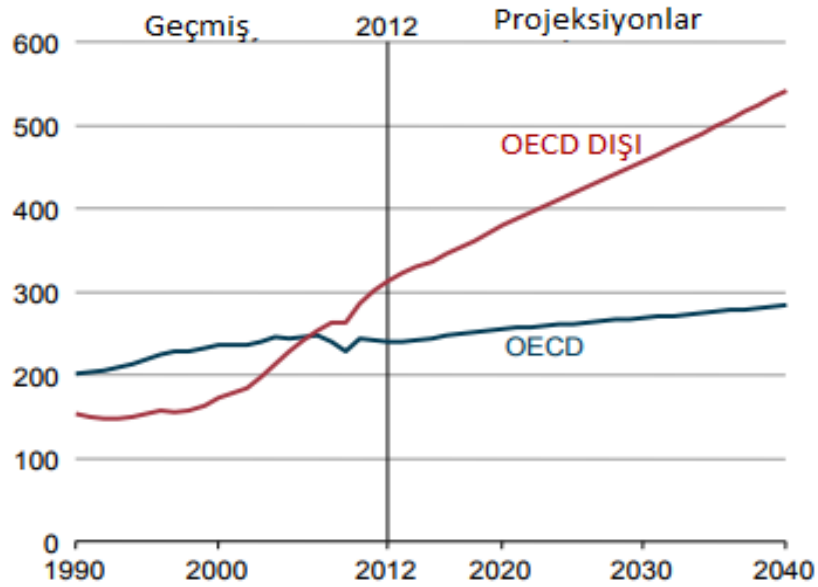
Enerjinin ekonomik ve sosyal refahın önemli belirtilerinden biri olması, hayat kalitesinin arttırılmasında önemli bir rolü olduğu bilinmektedir. Devam ettirilebilir bir kalkınmanın devamlı ve kaliteli bir enerji sağlanmasıyla olası olacağı da iyi bilinen bir diğer konudur. Enerji sektöründe ana amaç, artan nüfusa karşılık ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarıyla devamlı ve eksiksiz bir biçimde, ayrıca mümkün olabilecek en ucuz fiyatlarla, güvenli bir arz sistemi içinde karşılanabilmesidir.

Dünyada, özellikle de önde gelen gelişmiş devletlerde, enerjinin verimli kullanılması adına birçok farklı çalışmalar yapılmakta, enerji açısından verimli olan teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için maliyeti yüksek olan programlar uygulamaya koyulmaktadır. Bu uygulamaların bir bölümü resmi hükümetler eliyle yürütülen çeşitli çalışmalar, bilgilendirme ve eğitim çalışmaları, bazı yaptırımları olan yasal düzenlemeler, bir bölümü sivil kuruluşlar aracılığıyla devam ettirilen kampanyalar ve gönüllü faaliyetler, başka bir bölümü de büyük sanayi firmaları ile üniversitelerin kurduğu işbirliği ile yürütülen teknoloji geliştirme programlarıdır.

Sanayi Devrimiyle insanın enerjiye olan talebi artmış, hatta enerji kaynaklarının ekonomi ve sosyal kalkınma açısından önemli olması bu artışı hızlandırmıştır. Sanayi inkılabı akabinde kömüre dayalı olan enerji sahnesine ilerleyen zamanlarda petrol ve doğal gaz da dâhil olmuştur. Ancak, 1973 Petrol Krizinin ardından bütün bu enerji kaynaklarına karşı bir itimat problemi doğmuştur [2]. Bu krizin sonucu olarak ülkeler farklı enerji kaynakları arayışına girmişlerdir. Bunun yanı sıra fosil kaynakların çevre kirliliğine sebep olması da bu arayışa büyük bir ivme kazandırmıştır. Böylece dünya ülkeleri sahip oldukları enerjiyi daha verimli kullanabileceği sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmeye başlamışlardır. Özellikle fosil kaynaklar yönünden fakir olan AB ülkeleri ve sanayisi gelişmiş uzak doğu ülkeleri ile enerji tüketimi devasa bir aşamada olan ABD bu

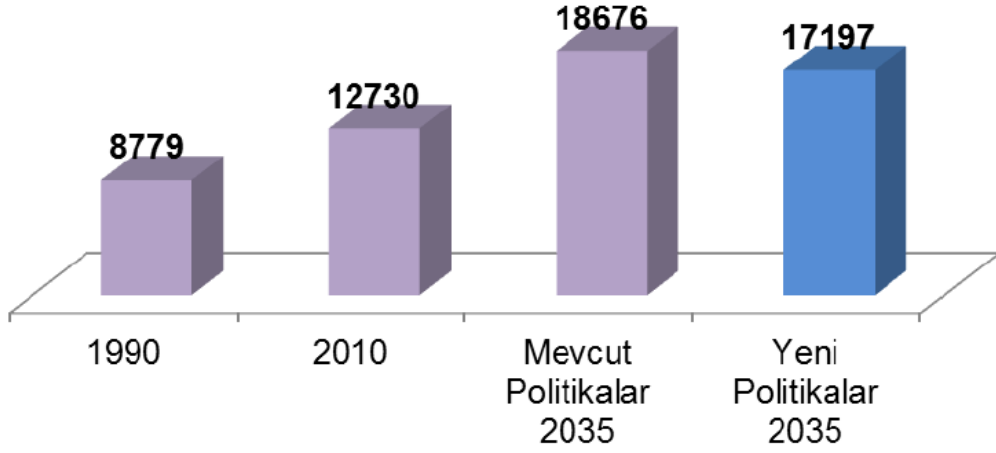
kaynakların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması alanlarında liderlik etmişlerdir [3]. Öte yandan gelecek nesiller için fosil yakıtlardan, kömürün yaklaşık 250 yıl petrolün ise en fazla 50 yıl sonra tükeneceği bilindiğinde bunlara ikame olarak yeni enerji kaynaklarının bulunup değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğu fark edilmektedir [4].

Dünyada enerji tüketimi, önemli bölgesel değişikliklere rağmen, ekonomik büyüme, teknolojik gelişme ve nüfus artışına paralel olarak sürekli bir yükseliş eğilimi göstermektedir [5-7]. Gelecek yıllarda da enerji tüketimindeki artış hız kesmeyecektir. Yapılan tahminlere göre dünyada 2010-2040 yılları arasında birincil enerji tüketimi %56 oranında artacaktır. Fakat enerji ihtiyacındaki bu yükselişin her ülkede farklı seviyede olması beklenmektedir. 1990'lı yılların devamında özellikle gelişmiş ülkelerin enerji ihtiyacında bir gerileme göze çarparken, gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaçları gün geçtikçe artmaya devam etmiştir. Bu sebepten dolayı, bizi bekleyen 30 yıllık süreçte Ekonomik Kalkınma İş Birliği Örgütü (OECD) ülkelerinin enerji ihtiyacı %17 oranında artarken, OECD dışı ülkelere ise bu artışın %90 dolaylarında olması beklenmektedir. 1990-2040 arasında OECD ve OECD Dışı ülkelerde enerji ihtiyacı değişimi tahmini Katrilyon BTU cinsinden Şekil 2.1' de grafik olarak gösterilmiştir. Bu grupta özellikle Asya kıtasında fazla nüfusa sahip olan ve ekonomisi hızlı şekilde büyüyen ülkelerin olması, bu kıtada enerji kaynaklarına olan talebin artmasına neden olacaktır [1].



Şekil 2.1: 1990-2040 ülkelerde enerji ihtiyacı değişimi tahmini [8].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) raporlarına göre, dünyada birincil enerji kaynakları tüketiminin 2030-2040 yıllarında 20.000 Mtep'lere ulaşacağı öngörülmektedir. Bu öngörü yine grafik olarak ilgili ajansın raporlarında yer almış ve Şekil 2.2' de gösterilmiştir. Bu beklentilere göre, 2035 yılında birincil enerji kaynakları içinde olan kömürün tüketimi (%30) ilk sıraya yerleşecektir. Petrol ise %27' lik pay ile bir sıra geriye yani ikinciliğe düşecektir. Bununla birlikte doğal gaz ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji tüketimi içindeki oranları da artış göstermeye devam edecektir. Bu süreçte nükleer enerji, biokütle enerjisi ve hidrolik enerjinin paylarında ise bir azalma görülecektir. Bu yüzdelik dağılım Tablo 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.2: 1990-2010 Yılları birincil enerji arzı ve 2035 yılı projeksiyonu [9]

Tablo 2.1: Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi (Mtep) [9].

Yıllar		1990	2010	2035 (Mevcut Politikalar)	2035 (Yeni Politikalar)
Kömür	mtep	2.231	3.474	5.523	4.218
	%	25	27	30	25
Petrol	mtep	3.230	4.113	5.053	4.656
	%	37	32	27	27
Doğalgaz	mtep	1.668	2.740	4.380	4.106
	%	19	22	23	24
Nükleer	mtep	526	719	1.019	1.138
	%	6	6	5	7
Hidrolik	mtep	184	295	460	488
	%	2	2	2	3
Odun,çöp,v.b.	mtep	903	1.277	1.741	1.881
	%	10	10	9	11
Jeotermal, Güneş,Rüzgar	mtep	36	112	501	710
	%	0	1	3	4
Toplam Birincil Enerji	mtep	8.779	12.730	18.676	17.197
	%	100	100	100	100

Önümüzdeki 30 yıllık süreçte birincil enerji kaynaklarının kullanılmasında fosile dayalı enerji kaynaklarının oranı (%80) bir miktar düşmesine rağmen hala önemini koruyacağı düşünülmektedir [7]. Bu zaman zarfında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırması beklentiler arasındadır. Ayrıca fosil yakıtların sebep olduğu iklim değişikliği ve farklı çevre problemleri nedeniyle özellikle CO_x emisyonu yüksek olan gelişmiş ülkelerin Kyoto Protokolü'ndeki sözlerine bağlı olarak bu salımları düşürmeleri gerekmektedir. Örneğin, AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının 2020 yılında %20 oranında olması hedef olarak konulmuştur [10].

Tıpkı dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de nüfus artışına bağlı olarak enerji tüketimi de önemli derecede artmaktadır. Enerji konusunda dışa bağımlı olan Türkiye'nin, bu tüketimi giderebilmesi için, enerjiyi verimli bir biçimde kullanması gerekmektedir. Ülkelerin, uzun vadede kesintisiz bir ekonomik büyüme elde edebilmeleri için; enerji verimliliği konusunda attıkları adımlar çok önemlidir. Üretim tesislerinde enerji verimliliğinin düşük seviyelerde olması maliyetlerde bir artış olarak yansımaya sebep olacaktır. Bu durum da, daha fazla kamusal enerji tüketimi ve ülke bütçesinden enerji harcamaları için daha fazla pay anlamına gelmektedir.

Enerji arzının büyük oranda ithal kaynaklarla sağlandığı dikkate alındığında bu durum, cari açığın giderek artmasına sebep olmakta, dışa bağımlılığı da arttırmaktadır. Enerjide dışa bağımlı olmaktan kurtulmanın yolu da, elde bulunan enerji kaynaklarının sayısını ve enerji üretimini arttırmaktan geçmektedir. Bunun daha da önemlisi; tüketicilerde bir bilinç oluşturularak, eldeki enerjiyi, israflardan kaçınarak verimli bir şekilde kullanma şuuruna ulaştırılmasıdır.

Yüzyıllardan beri ülkeler arası ekonomik ve siyasi ilişkilerin arka planında enerji konusu yatmaktadır. Ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarını ve toplumsal refahını sağlayabilmesi için artan enerji talebini karşılamaları gerekmektedir. Bu bağlamda Türkiye mevcut enerji kaynakları göz önüne alındığında kendi kendine yetebilen bir ülke olmadığı görülmektedir. Ancak Türkiye, stratejik bir coğrafi konumda olması nedeniyle sahip olduğu enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı olduğu söylenebilir. Türkiye, son zamanlarda bu önemli konumunu kullanarak sağladığı ekonomik büyümeye paralel olarak dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından biri haline gelmiştir. Gelişen ekonomisi ile birlikte enerji talebi

her geçen yıl artan Türkiye, OECD ülkeleri arasında enerjiye olan talebi en hızlı yükselen ülkelerdendir. Çin'den sonra en fazla enerji talep artışına sahip olan Türkiye'nin enerji tüketiminde fosil kaynaklardan; kömür, petrol ve doğalgazın payı oldukça yüksektir. 2015 yılı itibari ile ülkemizin birincil enerji kaynakları rezervi Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Ülkemizin birincil enerji kaynakları rezervi 2015 [11].

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taşkömürü (Milyon Ton)	506,5	425	368,4	1.308,5
Linyit (Milyon Ton)				
Elbistan	4.845,5			4.845,5
Diğer	9.146,0	768,9	4,5	9.919,4
Toplam	13.991,5	768,9	4,5	14.764,9
Asfaltit (Milyon Ton)	82			82
Bitümler (Milyon Ton)	1.641,4			1.641,4
Hidrolik				
GWh/Yıl	59.245,8			59.245,8
MW	22.748,9			22.748,9
Ham Petrol (Milyon Varil)	7.167			7.167
Doğalgaz (Milyar m ³)	23,2			23,2
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9.129			9.129
Toryum	380.000			380.000

2004-2014 yılları arasında ülkemizde birincil enerji kaynaklarının yerli üretim miktarlarını gösteren grafik Tablo 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.3: Birincil enerji kaynaklarının yerli üretim miktarı (Kilo TEP) [11].

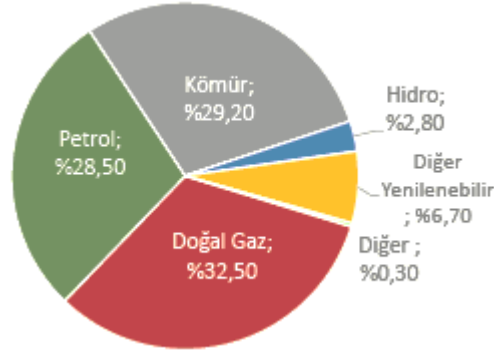
YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTİT	PETROL	DOĞAL GAZ	HİDROLİK	JEOTERMAL	RÜZGÂR	GÜNEŞ	ODUN	HAYVAN VE BİTKİ ARTIKLARI	BİYOYAKIT	JEOTERMAL İSİ VE DİĞER İSİ	TOPLAM
2004	1 081	9 141	310	2 389	581	3 963	80	5	375	4 318	1 214	-	811	24 268
2005	1 184	9 648	382	2 395	736	3 402	81	5	385	4 146	1 179	-	926	24 469
2006	1 348	11 545	195	2 284	757	3 886	-	11	403	4 023	1 146	2	898	26 497
2007	1 089	13 372	336	2 241	745	3 217	-	31	420	3 880	1 116	12	914	27 373
2008	1 204	15 205	265	2 268	839	2 861	140	73	420	3 679	1 134	18	1 011	29 117
2009	1 294	15 632	476	2 349	565	3 092	375	129	429	3 530	1 136	9	1 250	30 266
2010	1 511	15 505	508	2 671	563	4 454	575	251	432	3 392	1 166	7	1 391	32 425
2011	1 308	16 138	423	2 555	652	4 501	597	406	630	2 446	1 091	18	1 463	32 229
2012	1 095	15 355	567	2 440	533	4 976	773	504	768	2 350	1 115	23	1 463	31 964
2013	990	13 973	488	2 485	443	5 110	1 173	650	795	2 707	1 616	51	1 463	31 944
2014	1 118	14 830	411	2 471	414	3 495	-	733	803	2 162	1 007	81	3 524*	31 049

2004-2014 yılları arasında birincil enerji kaynakları arz miktarı grafik olarak Tablo 2.4'te gösterilmektedir.

Tablo 2.4: Birincil enerji kaynakları arz miktarı (Kilo TEP) [11].

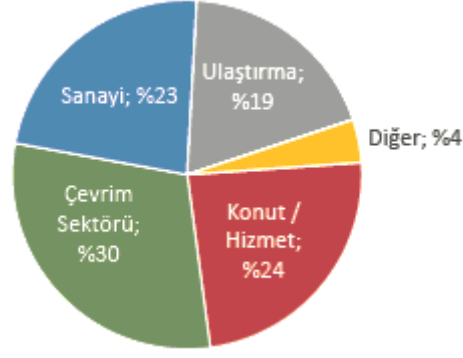
YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ	LINYİT	ASFALTİT	KOK	PETROKOK	ODUN	HAYVAN VE BİTKİ ARTIKLARI	PETROL	DOĞAL GAZ	HİDROLİK	JEOTERMAL	BİYOYAKIT	RÜZGAR	ELEKTRİK	JEOTERMAL ISI VE DİĞER ISI	GÜNEŞ	TOPLAM
2004	12 326	9 450	310	240	1 437	4 318	1 214	32 922	18 417	3 963	80	-	5	- 59	811	375	85 809
2005	12 514	9 326	317	305	1 670	4 146	1 179	32 192	22 294	3 402	81	-	5	- 100	926	385	88 642
2006	14 721	11 188	259	305	1 526	4 023	1 146	32 551	26 028	3 886	-	2	11	- 143	898	403	96 802
2007	15 411	13 444	272	337	1 445	3 880	1 116	33 310	30 613	3 217	-	12	31	- 134	914	420	104 287
2008	14 179	15 003	265	149	1 795	3 679	1 134	31 915	30 482	2 861	140	18	73	- 29	1 011	420	103 096
2009	14 768	15 672	450	8	2 015	3 530	1 136	30 565	29 551	3 092	375	9	129	- 63	1 250	429	102 915
2010	15 479	15 385	460	114	2 093	3 392	1 166	29 221	31 474	4 454	575	7	251	- 67	1 391	432	105 827
2011	16 666	16 420	403	389	1 963	2 446	1 091	30 499	36 909	4 501	597	18	406	78	1 463	630	114 480
2012	20 316	15 433	471	275	2 800	2 350	1 115	31 205	37 373	4 976	773	23	504	247	1 463	768	120 093
2013	17 692	13 182	416	273	3 103	2 707	1 616	33 896	37 628	5 110	1 173	51	650	533	1 463	795	120 290
2014	20 220	15 296	376	234	2 923	2 162	1 007	32 428	40 219	3 495	-	77	733	439	3 524*	803	123 937

Ülkemizin 2014 yılına ait birincil enerji arz miktarını gösteren grafik şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu miktarla ülkemiz toplam 123,9 MTep seviyelerindedir.



Şekil 2.3: 2014 Türkiye birincil enerji talebi [12].

Ülkemizde enerji kullanımı daha çok bina (ticari ve konutlar), sanayi ve ulaştırma sektörlerinde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan sanayi sektörü, ülkemizdeki nihai enerji tüketimi içindeki yaklaşık %32 ile önemli bir yere sahiptir. Bu dağılım şekil 2.4'te gösterilmektedir. Sanayi sektörü, hem yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip olması, hem de sanayide kullanılan enerjinin genellikle ticari enerji olması sebebiyle enerji tasarrufu çalışmalarında özellikle dikkat edilmesi gereken bir sektördür.



Şekil 2.4: 2014 Türkiye toplam nihai enerji tüketimi sektörel dağılımı [12].

2.1 Türkiye Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimliliği

Sanayi sektörü, ülkelerin enerji tüketimlerinde en yüksek orana sahiptir. Küreselleşen dünyada rekabet şartlarının ve olumsuz çevre koşullarının gün zamanla daha da artması, enerjinin etkin ve verimli kullanımına ön plana çıkarmaktadır.

Gelişen sanayiler enerjiyi etkin üretim süreçlerini kullanarak ayakta kalabilmektedirler. Enerji kaynaklarını üretimde etkin ve verimli kullanmayan işletmeler rekabet koşullarında başarısız olmaktadır. Örneğin; Almanya, Japonya, İsveç gibi enerji yoğunluğu düşük ülkelerin sanayileri incelediğinde; üstün özellikli ana üretim prosesleri-teknolojileri, bu teknolojileri destekleyen atık ısı geri kazanımı, otomasyon gibi teknolojiler ve verimlilik ilkesi ile birleşmiş enerji yönetim anlayışı görülmektedir [13]. Nitekim IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı)'nın, AB'nin bütün ülkeler için önerdiği endüstriyel verimlilik alanları veya mühendislik sorunları ile başa çıkma konularında düşünceler birleşmiştir. Endüstride enerji verimliliğini artırmak adına, enerji muhasebesi, kontrol sistemleri, yalıtım, yeni teknolojiler ve endüstriyel süreçler, hammadde nitelikleri, ürün çeşitleri ve özellikleri, iklim koşulları ve çevresel etkiler, kapasite kullanımı gibi konularda çalışmalar yürütülmektedir. Endüstriyel tesislerin enerji tasarruf konusunda farklı önlemleri ve verimli teknolojilerin aracılığıyla enerji kullanımlarını verimli bir biçimde yönetmelerine imkân vermek ve bu yöndeki teşvikleri artırmak vasıtasıyla Türk endüstrisinde enerji verimliliğinin olabilecek son noktaya çıkarılması hedeflenmektedir.

Endüstride enerji verimliliği uygulamaları doğrudan fiyatı etkilediğinden elde edilen karlılığa pozitif bir biçimde yansması ve yapılacak yatırımların başka sektörlerle göre daha düşük maliyetle gerçekleştirilebilmesi, yapılan yatırımların asgari sürede kendini amorti etmesi rekabet ortamında önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu sebeple birçok ülkede enerji verimliliği uygulamaları etkin ve öncelikli olmasından dolayı özellikle sanayi sektöründe yoğunlaşmaktadır. Enerji kullanımı fazla olan sektörlerde yapılan çalışmalarla verimlilik potansiyeli geri kazanılarak üretimde enerji yoğunlukları düşürülmeye çalışılmıştır [14].

Enerji yönetimi ürün kalitesinden ve miktardan ödün vermeden güvenlik ve çevresel bütün koşullardan fedakârlık etmeden enerjinin daha verimli ve etkin kullanılması için çalışmalar bütünüdür. İşletmelerde enerji verimliliğinde başarı, bilinçli bir enerji yönetim sistemi ile sağlanır. Fakat yalnızca işletmelerin önlem almalarıyla enerji verimliliğinde başarıya ulaşması mümkün olmamaktadır. Ülkelerin kendi rekabet güçlerini artırabilmeleri için devlet olarak da enerji verimliliği ile ilgili çalışmalara liderlik etmesi lazımdır. Bu konuda stratejik yol haritalarının oluşturulması, teşvik sistemleri, sorumluluklar ve yaptırımlarla ilgili çalışmalarda bulunması ve işin temelini insan kaynağına dayanmasından ötürü eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri gibi geniş bir alanı içermektedir.

3. ATIK ISI VE GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ

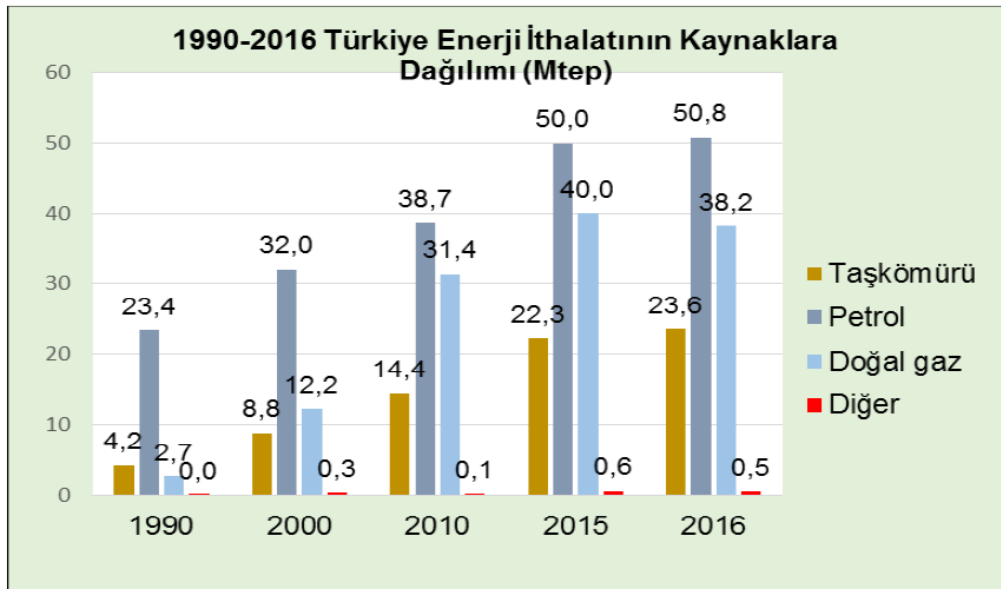
Bir enerjinin kalitesi, o enerjiden kazanç elde edebilme potansiyeli ile alakalıdır. Buna göre enerji türlerinin hiçbiri (elektrik, mekanik, ısı, vb.) aynı kalitede değildir. Kullanılan bir enerjinin işe dönüşen kısmına kullanılabilir enerji denirken; işe dönüştürülemeyen kısmına ise kullanılamaz enerji denmektedir. Bir kaynaktaki enerji başka bir enerji türüne dönüştürülürken veya bir proses içinde kullanılırken geriye kalan enerji (atık enerji) hala kullanılabilir düzeyde ise bu atık enerjinin hala bir potansiyeli vardır. Yani bir proses sonunda çevreye atılan ve faydalı işe dönüşebilme potansiyeli olan enerjiye atık enerji denmektedir [15]. Atılan bu enerji genellikle gaz veya sıvı formda akışkanlar vasıtasıyla çevreye verilir. Bu duruma ısı enerjisi türünden bakıldığında, termodinamik proses sonunda kullanılmadan çevreye atılan ve faydalı işe dönüşebilme potansiyeli olan ısı enerjisine atık ısı denilmektedir. Atık ısı herhangi bir ısı makinesi için kaçınılmaz bir durumdur ve kaybedilen bu atık ısı miktarı sisteme verilen enerji miktarı ile kıyaslandığında sistemin temel verimini vermektedir [16].

Atık ısı genellikle atmosfere, bazı durumlarda ise nehirler ve göller gibi büyük su birikintilerine verilir. Atık ısı, ısı makinesinin kaçınılmaz bir ürünü olduğundan, enerji santrallerinin verimliliği sınırlıdır ve bu nedenle arzulanan enerji çıktısını elde etmek için daha fazla yakıt kullanılır. Bu durum da sera gazı emisyonlarını arttırarak küresel ısınmaya daha fazla katkıda bulunur. Günümüz ülkelerinin birçoğunda sanayisel enerji tüketiminin neredeyse %26'lık bir kısmı sıcak gazlar ve sıvılar olarak atılarak kaybedilmektedir. Kaybedilen bu enerji, atık ısı geri kazanımıyla büyük ölçüde azaltılabilir. Atık ısı geri kazanım sistemlerinin kurulma ve işletme maliyetleri, enerji fiyatlarındaki artış göz önüne alındığında bir kaç yılda kendini amorti edebilecek seviyededir. Bu yöntemden yararlanabilmek için her firma kendi sistemine uygun bir atık ısı geri kazanım sistemi geliştirmelidir [17].

3.1 Enerji Verimliliği

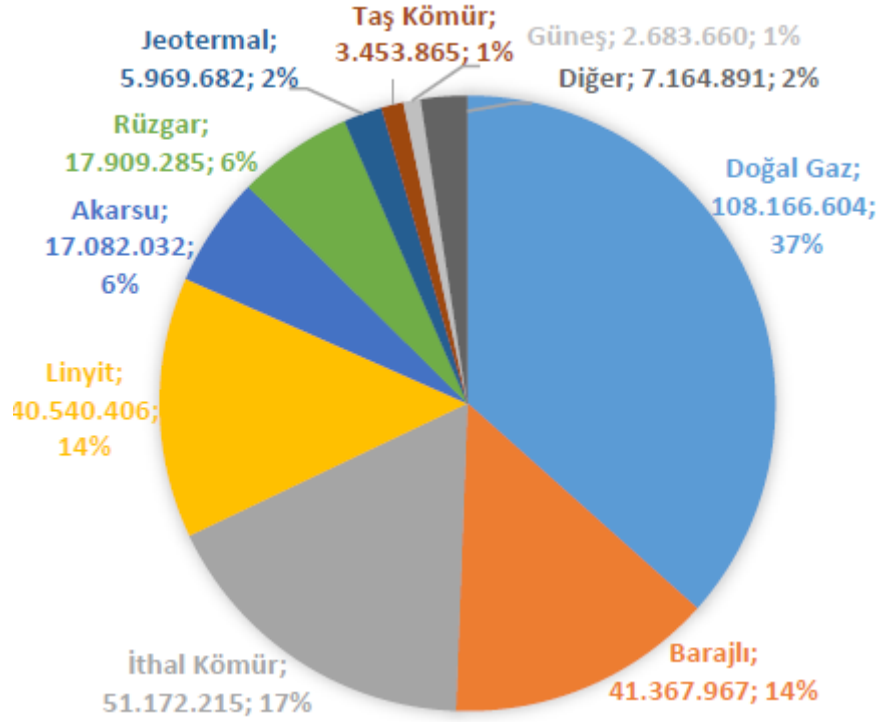
Özellikle son yıllarda hızla gelişen ülkemizde endüstrileşme faaliyetleri, nüfus artışları, yaşam standartlarındaki gelişmeler ve artan konfor ihtiyacı, enerji tüketimimizi her geçen yıl arttırmaktadır ve bu artış giderek devam etmektedir. Bu artışlara bağlı olarak 2020 yılında ülke bazında gereken enerji ihtiyacının ancak %20'lik bir kısmının yerli kaynaklarla karşılanabilir olacağı öngörülmektedir.

Ülkemizin enerji tüketiminin, 90'lı yıllardan başlayarak 2015 yılına gelindiğinde %1'lik bir oranda arttığı görülmektedir. Türkiye enerji ithalatı 2000 yılında 53,3 mtep iken 2010 yılında %58 artarak 84,6 mtep'e ulaşmıştır ,bu rakam 2016 da 113,1 mtep'e ulaşmıştır.



Şekil 3.1: 1990-2014 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı [18].

Ülkemizde 2017 yılı verilerine göre elektrik enerjisi üretim kaynaklarının %37'sini doğalgaz, %17'sini ithal kömür ve %14'lük kısmını ise linyitin oluşturduğunu aşağıdaki şekil 3.3'te görmekteyiz. Ülkemizin enerji noktasında dışa bağımlılığı burada kendisini bir kez daha göstermiştir.



Şekil 3.2: 2017 yılı kaynak bazında üretim değerleri (MWh) [19].

Tüm bu veriler göz önüne alındığında ülkemizde enerji verimliliği konusunun giderek artan bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Kurumların alacağı gerekli önlemlere ek olarak sanayi firmalarının da üretim teknolojilerini geliştirerek enerji verimliliğine katkıda bulunması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde; alınan önlemlerin uygulanması durumunda 2020 yılında ülkemizde oluşacak enerji tüketiminin önlem alınmamış duruma oranla %20 daha az olacağı öngörülmektedir.

3.2 Atık Isıdan Yararlanma ve Geri Kazanım Yöntemleri

Atık Isı geri kazanımında işlem den önce mevcut sistemin işletme ve kullanım şartlarının çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Eğer bu girdiler doğru tanımlanmazsa, sisteme ilave geri kazanım cihazı eklendiğinde ortaya çıkabilecek sorunları önceden bilmek olanaksızlaşır. Bazı durumlardan atık ısıdan dolaylı yollarla yararlanılsa da bazı durumlarda atık ısının direkt kullanımını sağlayacak metotlar vardır. Bu metotlar uygulandığı durumlarda yatırım maliyetleri yüksek mertebelerde olmayacaktır. Atık maddelerin kolaylıkla ve ekonomik biçimde temizlenemediği

durumlarda genellikle atık ısı geri kazanımı için bir system kurulması mecburiyeti ortaya çıkmaktadır. Geri kazanılan ısı, sıcak su hazırlamada, yanma havası veya ortam ısıtmada veya kurutma işlemlerinde kullanılabilir.

Sanayide genellikle sıcak sıvı ve gazlar ile atılan atık ısılar geri kazanılmaktadır. Sıcak sıvılardan ısı kazanmak adına genellikle boru veya plaka tipi ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Sıcak gazlardan yararlanmak adına ise genellikle plaka veya serpantilli tip ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Hangi tür için hangi sistem kullanılırsa kullanılsm günümüzde enerji fiyatlarının durumu nedeniyle ısı geri kazanımı için harcanacak yatırımların kısa sürede kendini amorti edip kara geçireceği aşıkardır.

Atık ısı kaynağı belirlendikten sonra bu ısının nerede ve ne amaçla kullanılacağı tespit edilerek geri kazanım ile faydalanılacak ısı miktarı belirlenmelidir. Geri kazanılmak istenen atık ısı miktarı ne kadar fazla olursa sistemde kullanılacak ekipmanların kapasiteleri ve buna bağlı olarak da yatırım maliyetleri yüksek olacaktır. Atık ısı geri kazanımını etkileyen temel faktörlerin başında, atık ısı kaynağındaki akışkanın sıcaklığı ve kompozisyonu, geri kazanım sistemindeki akışkanın sıcaklığı ve kompozisyonu ile kullanılacak bu akışkanın ulaşacağı maksimum sıcaklık gelmektedir.

3.2.1 Sıvı Akışkanlardan Atık Isı Geri Kazanımı

Sanayide sıvı akışkandan atık ısı geri kazanımı için genellikle ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Bu düzeneklerde sıcak olan akışkan ısını soğuk akışkana aktarmaktadır. Akışkanların birbirlerine karışmasını önlemek için iki akışkanı birbirinden ayıran yapılar kullanılır. Ayırmak için kullanılan bu yapıların ısı iletim katsayısının iyi olması, akışkanlardan etkilenmemesi ve sistemde kayıplara yol açmaması gibi pek çok özelliğe sahip olması gerekmektedir. Eğer akışkan viskozitesi yüksekse ve ısı kapasitesi düşükse ısı transfer yüzeyinde kanatçıklar vasıtasıyla bir artış sağlanması yoluna gidilir. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan tipleri boru tipi ve plaka tipi ısı değiştiricileridir. Her iki tip ısı değiştiricisi de uygulandığı yerlere göre ve tasarımlarındaki farklılıklara göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Aşağıda Tablo 3.1'de her iki tip ısı değiştiricinin uygulama alanları belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Borulu ve plakalı ısı değiştiricilerinin uygulama alanları.

<i>Isı Değiştirici Tipi</i>	<i>Uygulama Alanı</i>
Borulu tip ısı değiştiriciler	Soğutma sistemleri Fırın duvar ve kapılarında kullanılan soğutucular Motorlar, hava kompresörleri, yağlama vb. sistemlerdeki soğutucular Atık baca gazları ve sıvılar Proses akışkanları
Plaka tipi ısı değiştiriciler	Sıcak atık gaz ve sıvılar Buharlaştırıcı üniteleri Pastörize üniteleri

3.2.2 Gazlardan Atık Isı Geri Kazanımı

Gazlarda atık ısı geri kazanımı fabrikalarda enerji tasarrufu açısından büyük yararlar sağlamaktadır. Sistemin tesis içinde nasıl değerlendirileceği kurulmadan önce belirlenmelidir. Bu proseste kazanılan atık ısı genellikle fabrika ısıtmasında, sıcak su hazırlanmasında veya işlemede kullanılacak havanın ön ısıtmasında kullanılmaktadır. Gazlardan atık ısı geri kazanımında yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipleri plaka tipi ısı değiştiricileri, serpantilli ısı değiştiricileri, ısı tekerleği, ısı borusu ve ısı pompasıdır.

3.3 Literatür Araştırması

Endüstriyel atık ısı, Ammar ve ark. tarafından ekonomik olarak iyileştirilemeyen ısı olarak tanımlanmaktadır [20]. Bununla birlikte, atık ısı geri kazanımının ekonomikliği, ısı kaynağının nitelik ve niceliğine, geri kazanılan enerjinin nihai kullanımına ve tasarım yaklaşımlarına bağlıdır. Viklund ve Johansson, atık ısıyı endüstriyel proseslerin bir yan ürünü olarak tanımlamıştır [21]. Bu tanım, bu ısıyı tek bir işlemede veya bir sistemdeki birkaç işlem birimi arasında geri kazanma potansiyelini ihmal eder.

Bendig ve ark., endüstriyel atık ısıyı, ısı geri kazanımından sonraki bir süreçte mevcut olan ısı olarak tanımlamaktadır [22]. Tanımı, ısıyı geri kazanım potansiyelini tek bir işleme kısıtlayarak hesaba katsa da, birkaç işlem arasındaki ısı geri kazanım potansiyelini ve ayrıca enerji talebini karşılamak üzere tasarlanmış bir saha şebekesi sisteminden elde edilen atık ısı derecesini ihmal etmektedir (ısı, güç ve soğutma). Morandin ve ark. endüstriyel atık ısını 'endüstriyel proseslerde kullanılmayan orta ila düşük sıcaklık' derecesinde ısı olarak tanımlamaktadır [23]. Bu tanımlama, şantiye hizmet sisteminden elde edilen ısıyı ve kullanılmayan yüksek ısı ısılarını ihmal eder. Viklund ve Karlsson, tarafından atık ısı, aynı zamanda, bir ortamla değiştirilen fazla ısı olarak da adlandırılmıştır; su, hava ve baca gazı gibi [24]. Aynı tanım Bruckner ve ark. tarafından da kullanılmıştır [25]. Bununla birlikte, bu aşırı ısının, bir süreçte ya da bir sistemdeki çeşitli işlem üniteleri arasında ısı geri kazanımı maksimize etmeden önce ya da sonra bulunup bulunmadığı açık değildir.

Üretim endüstrilerindeki yakıt tüketimini en aza indirmek için, bir santraldeki işlem üniteleri arasında ve tek bir işleme ünitesi içinde ısının geri kazanılmasını maksimize etmek için Pinch Analizi ve Toplam Alan Analizi kullanılmaya başlandı. Bu kavramlara dayalı tekniklerin uygulanması, enerjinin verimli kullanılması ve işlem alanlarından gelen emisyonların azaltılmasıyla sonuçlanmıştır [26].

Uluslararası arenada enerji rekabeti açısından hız kazanma konusunda enerji verimliliği çalışmaları endüstride büyük bir öneme sahiptir. Sanayide enerjiden tasarruf sağlamak adına, enerji maliyeti, ısı yalıtımı ve kontrol sistemleri, yeni teknolojiler, çevresel şartlar ve kapasite kullanımı alanlarında farklı çalışmalar yapılmaktadır.

Sanayide enerjiyi etkin kullanmak ve verimi arttırmak için, elektrik ve yakıt tüketimini miktar ve zaman açısından etkileyecek pratiğe dönük birçok çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmaların içerisinde atık Isı geri kazanımı hem maliyet hem de çevresel faktörlerden ötürü çok büyük ve giderek büyüyen bir öneme sahip olmaktadır.

4. ISI DEĞİŞTİRİCİLER VE ATIK ISI GERİ KAZANIMINDA KULLANIMI

Endüstriyel tesislerde atık ısının geri kazanımın temel metodu ısı değıştircilerinin kullanımınıdır. Endüstriyel bir ısı değıştircisinin belirlenmesinde kullanılan tasarım parametreleri; akışkanların sıcaklıkları, ısı transfer kapasitesi, her bir akışkan hattında izin verilebilecek basınç düşümleri ve ısı değıştirciye giren akışkanların nitelikleri ve hacimsel debilerdir. Dolayısıyla bu değerler ısı değıştircisinin maliyetini belirlemektedir. Son tasarım, basınç düşümü, ısı değıştirci verimliliği ve maliyet üçlüsünün uyumuyla gerçekleştirilir. Son tasarımda kararlara yol gösterici, sabit maliyetlere karşı bütün sistemin bakım ve işletme giderlerinin karşılaştırılmasıdır. Böylece toplam maliyetler azaltılabilir.

4.1 Isı Değıştirciler

Sıcaklıkları aynı olmayan ve bir ara yüzey ile birbirlerine teması engellenen akışkanlar arasındaki ısı alışverişı mühendislik faaliyetlerinin en önemli ve en çok karşılaşılan işlemlerindendir. Bu tarz ısı alışverişini sağlayan ekipmanlar, ısı değıştircisi diye anılır. Eşanjör ya da ısı değıştirci, sıcaklıkları farklı iki ya da daha fazla akışkanın, ısılarını, birbirine temas etmeden, birinden diğerine iletmesine olanak sunan aletlerdir. Çoğunlukla akışkanlar birbirlerinden ısı transferine olanak sağlayan bir yüzey ile ayrılırlar ve birbirlerine karışmadan akmaları bu sayede sağlanır.

Isı değıştircilerinin çok geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Hacim ısıtılması ve soğutulması, iklimlendirme tesisleri, termik santraller, kimya ve gıda sanayisi, çevre mühendisliği, elektronik sanayi, uzay ve havacılık çalışmaları, tıp alanı, ısı depolama sistemleri ve atık ısının geri kazanımı gibi birçok uygulama alanı mevcuttur.

4.1.1 Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması

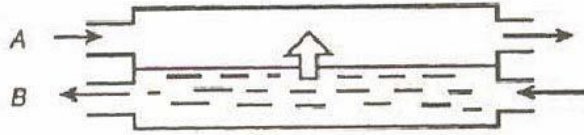
Isı değiştiricilerinin çok geniş bir alanı kapsamaması sebebiyle, literatürde farklı kriterler dikkate alınarak sınıflandırmalar yapılmaktadır. Genel bir sınıflandırma Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Isı değiştiricilerin sınıflandırılması [27].

4.2 Reküperatörler

Reküperatörler, belirli bir kaynaktan ortaya çıkan orta ya da yüksek sıcaklıktaki egzoz gazlarının enerjisinin geri kazanılarak gaz fazındaki farklı bir akışkana iletildiği ekipmanlardır. Kısaca bu aletler gazlardan gazlara ısı iletiminde kullanılan cihazlardır. Başka bir deyişle atık ısıyı geri kazanmada kullanılan ters akışlı ısı değıştircileridir. Bir reküperatör şekil 4.2’de şematik bir biçimde gösterilmiştir.



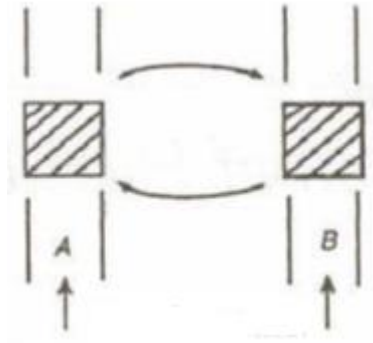
Şekil 4.2: Reküperatör şematik gösterimi [27].

Bu ekipmanlar enerjinin verimli kullanılabilmesi ve enerji giderlerinin azaltılabilmesi için oldukça önemli ekipmanlardır. Bu ekipmanlar endüstri tesislerinde, iş yerlerinde, alışveriş merkezlerinde, ticari işletmelerde, tiyatro, opera ve sinema salonlarında, spor tesislerinde, otel, hastanelerde, kütüphanelerde vb. ve sıralamakla bitmeyecek birçok yerde kullanılır. Klima santrallerinde olduğu kadar havalandırma kanalları üzerinde de uygulanabilir.

Bu ısı değıştircileri kendilerine yapılan yatırımları kısa sürede geri öder. Düşük ilk yatırım ve işletme maliyetleri olan bu sistemler yüksek verimle geri kazandıkları enerjinin yanı sıra çevreye verilen zarar da azaltarak çevre dostu olma özelliği de taşır. Reküperatör uygulamalarının ilk yatırım giderleri, farklılık göstermekle birlikte, gelişen üretim teknolojileri sayesinde ucuzlayan parça maliyetleriyle en çok 2 yıl içinde kendini amorti edebilir. Çalışma ömürleri 10 yıl ve üzerindedir.

4.3 Rejeneratörler

Bu tip ısı değiştiricilerde ısı alışverişi doğrudan olmayıp, genellikle ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda muhafaza edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Şematik olarak gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Rejeneratör içinde ısının depolandığı elemanlara ise dolgu maddesi veya matris adı verilir. Isı bu dolgu malzemesinden geçen akışkana verilir. Isı önce sıcak akışkan tarafından depolanmakta, daha sonra soğuk akışkana verilmektedir [28]. Bu tip ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirleriyle temas etmezler. Sanayide en çok termik santrallerde görülen bu ısı değiştiricisi yanma havasını ısıtılması gibi sistemlerde kullanılmaktadır.



Şekil 4.3: Rejeneratörün Şematik gösterimi [27].

Isıyı depolama ve ısı geğişi bakımından kanal malzemelerinin seğimi ile geometrileri çok önemlidir. Periyodik bir Şekilde ısı yutan ve geri veren rejeneratörleri çalışma Şekline göre; genellikle sadece rejeneratör olarak adlandırılan sabit dolgu maddeli rejeneratör, döner dolgu maddeli rejeneratör ve paket yataklı rejeneratör olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.

4.4 Borulu Isı Değiştiricileri

Borulu ısı değiştiricileri adından da anlaşılacağı gibi, çoğunlukla dairesel kesitli tüplerden imal edilmektedir. Bir akışkan borunun iğerisinden akarken, diğer akışkan borunun dışından akmaktadır. Boru çapı, sayısı ve uzunluğunun değiştirilebilir olması, borulu ısı değiştiricilerinin tasarımında esneklik sağlamaktadır [29]. Ayrıca dairesel kesitli boruların kullanıldığı sistemler diğer geometrik Őekillerle

imal edilmiş sistemlerle kıyaslandığında yüksek basınçlarda kullanılma durumunun olduğu görülür. Borulu ısı değiştiricileri düz borulu, gövde borulu ve spiral borulu olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir.

4.5 Atık Isı Kazanı

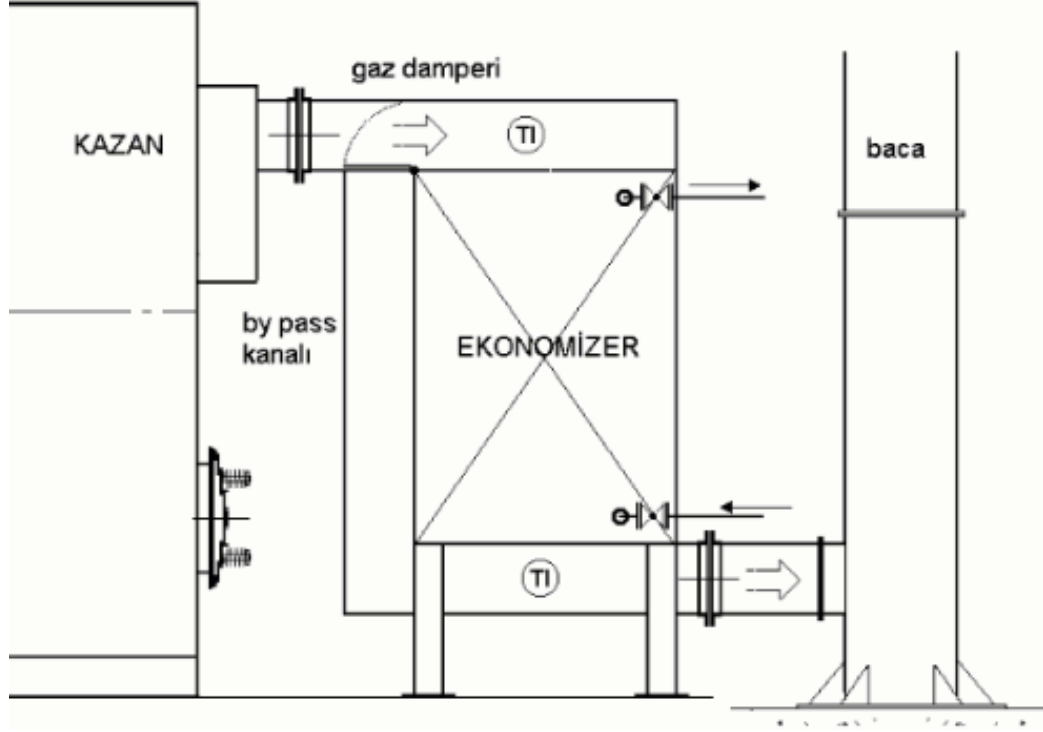
Atık ısı kazanı, sistemin ihtiyaçlarına göre belirlenmiş sıcaklık ve basınç değerlerinde en elverişli buhar üretimini sağlamak için egzoz gazının girişi ile çıkışı arasında, art arda yerleştirilmiş kızdırıcı, buhar üretici (evaporatör) ve ekonomizer gibi bölümlerden oluşan ters akımlı bir ısı değiştiricidir. Bu cihazlarda ısı transferi sadece konveksiyonla olur.

Atık ısı kazanları, gaz özelliklerine, yerleşim yerine, ısıl kapasiteye, kullanım amacına, kazan kapasitesine, vb. faktörlere bağlı olarak duman borulu, su borulu, helezon borulu tiplerde buhar, kaynar su, sıcak su veya kızgın yağ üretmek üzere tasarlanırlar.

4.6 Ekonomizerler

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde kullanılmakta olan kazanlardan bacaya atılmak üzere çıkan duman gazları, genellikle kazan çalışma rejimi sıcaklığından 40°C ila 80°C daha yüksek olmaktadır. Kazan çalışma anındaki sıcaklığı ve bununla alakalı olarak kazan duman gazının çıkış sıcaklığı arttıkça, duman gazları vasıtasıyla ortama atılarak kaybedilen enerji miktarı da yükselmektedir. Bacadan çevreye kaybedilen bu atık ısıdan bir miktar geri kazanım sağlanması, sistemin veya kazanın veriminin de bir artış sağlayacağından tasarruf sağlayacaktır. Ekonomizerler, kazanlardan çıkarak bacadan atılan gazların sahip olduğu ısının bir kısmını, kendi içlerinde devir daim yapan suya ileterek, enerjiyi geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Şekil 4.19'da tipik bir ekonomizer uygulaması yerleşim şeması verilmiştir. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Ekonomizer kullanımının bir diğer faydası da suyun ısıtılması esnasında, kazanda birikime yol

açacak maddelerin çökmesine ve kazana gitmeden sudan ayrışmasına olanak vermektir. Ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına ve duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına bağlıdır. Kazandan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın verimine, kazanın çalışma rejimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlıdır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşullarına bağlıdır.



Şekil 4.4: Tipik bir ekonomizer uygulaması yerleşim şeması [30].

Bu cihazlarda ısı transferi konveksiyonla sağlanmaktadır. Duman gazlarına göre suyun ısı iletim katsayısı daha yüksek olduğundan toplam ısı transfer katsayısı, duman gazı tarafındaki ısı transfer katsayısına yaklaşık eşit olmaktadır. Bu değer, duman gazlarının ekonomizere giriş hızına ve sıcaklığına, ekonomizerin tasarımına, ısı transfer yüzeylerinin temizliğine vs. bağlıdır. Toplam ısı transfer katsayısını arttırmak için duman gazları tarafında kanatlı boru kullanılabilir ve kanatlı boru kullanıldığında yüzey sıcaklıkları artacağından, duman gazlarının ısı transfer yüzeylerinde yoğuşma tehlikesi de azaltılmış olur. Ekonomizerlerde duman gazı hızları 4-15 m/s arasında seçilmektedir.

Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne kadar büyük olursa geri kazanılan ısı, buna bağlı olarak verim artışı da o kadar büyük olacaktır. Fakat korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek için atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği de dikkate alınmalıdır. Duman gazları içindeki su buharı ve kükürt dioksitini yoğunlaşp ısı transfer yüzeylerine zarar vermesini önlemek için suyun ekonomizere giriş sıcaklığı, duman gazlarının çığ noktası sıcaklığının üzerinde olmalıdır. Suyun ekonomizerden çıkış sıcaklığının, doymuş buhar sıcaklığından aşağıda tutulması, ekonomizer için zararlı olan su buharının oluşmaması açısından önemlidir.

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 faydalanmak mümkündür. Bir duman gazı, kullanılan yakıtın cinsine bağlı olarak ısı geri kazanım sisteminde baca gazı sıcaklığının minimum seviyesine ulaşabilir. 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 [31].

Genellikle ekonomizerelerde, besleme suyu boruların içinden duman gazları ise boruların dışından akarlar. Suyun boru dışından, baca gazlarının ise boruların içinden aktığı tiplerde mevcuttur. Genelde bu cihazlar ters akışlı tasarlanırlar. En yaygın ekonomizer tipi, dökme demirden flanşlı ve dört köşe kanatlı borulardan imal edilenlerdir. Bu borular yatay olarak yerleştirilmiş ve yine dökme demirden yapılmış şablonlarla birleştirilmiştir. Bu tipler, yüksek basınçlarda uygun olmakla beraber, besleme suyunun yumuşatılmış, gazdan ve havadan arıtılmış olmasını gerektirirler. Ekonomizerlerde kullanılan boru çapları da değişkendir. Genellikle 48-97 mm iç çaplı borular kullanılmaktadır.

Ekonomizerin çok çeşitli alanlarda uygulanabilirliğine rastlanmaktadır. Burada esas olan, sistemden elde edilen geri kazanılmış ısının, sistemin çalışma evresi süresince kullanılmasıdır. İşletmelerde ekonomizer kullanılmasıyla elde edilmesi muhtemel olan faydalar şu şekilde sıralanabilir:

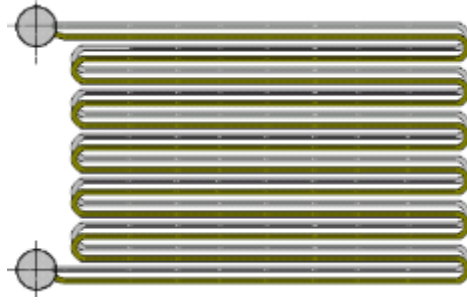
- Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde %3 ile %8 arasında artış sağlanabilir.
- Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanabilir veya aynı miktarda yakıt harcamasına karşın daha fazla ısı üretimi gerçekleştirilir.
- Daha az yakılan yakıt ile doğaya daha az CO₂ emisyonu salınacaktır. Daha çevreci sistemler oluşturulabilmektedir.
- Geri kazanılan ısının kazandaki besleme amaçlı kullanılan suya verilmesi durumunda, kazanın en yüksek mertebedeki yüklerde bile kolaylıkla çalışması, farklı ve değişken yüklere uyum sağlama yeteneğinde artış ve kazan veriminin farklı yük durumlarında göreceli olarak yüksek seviyelerde ve sabit kalması sağlanır.
- Ortalama çalışma kapasitesinin üzerinde olan veya verim olarak düşük olan kazanlara ekonomizer ilave edilmesi ile kazanın sahip olduğu kapasite ve verim ideal düzeylere çıkarılabilir.
- Devamlı çalışmakta olan tesislerde geri kazanılan ısının getirisiyle birlikte, yapılacak ekonomizer tipine bağlı olarak, yatırımın 5 ile 20 ay arasında amorti ettiği görülmüştür [32].

Ekonomizerler buhar, kaynar su a ve kızgın yağ kazanlarında kullanılırlar. Böylece kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında, degazör ısı ihtiyacının karşılanmasında, tesiste farklı gereklilikler doğrultusunda kullanılması planlanan sıcak suyun ısıtılmasında, tesisteki bir bölgenin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemindeki suyun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde fayda sağlarlar.

Ekonomizerlerin düz veya dirsek dönüş borulu, helezon ve spiral borulu, kanatlı borulu ve duman borulu olmak üzere dört tipi vardır.

4.6.1 Düz veya Dirsek Dönüş Borulu Ekonomizerler

Kömür, fuel oil, vb. yakıtlardan kaynaklanan göreceli olarak kirli olan duman gazlarından ısı geri kazanmak için kullanılırlar. Düşük seviyedeki basınç şartlarında düz borulu, yüksek basınçlarda ise dirsek dönüş (U) borulu tipleri kullanılır. Şekil 4.20'de şematik olarak gösterimi mevcuttur.



Şekil 4.5: Düz veya dirsek dönüş borulu ekonomizer şematik gösterimi [30].

4.6.2 Helezon ve Spiral Borulu Ekonomizerler

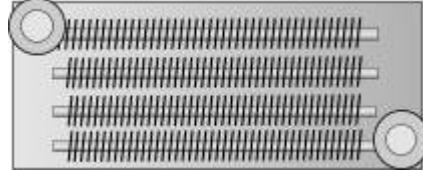
Her türlü atık gazlarda kullanılabilirler. Çünkü duman gazlarının kirlilik durumlarından etkilenmeyen yapıdadırlar. Genelde kanal veya baca arasına ya da içlerine yerleştirilirler. Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Helezon ve spiral borulu ekonomizer [30].

4.6.3 Kanatlı Borulu Ekonomizerler

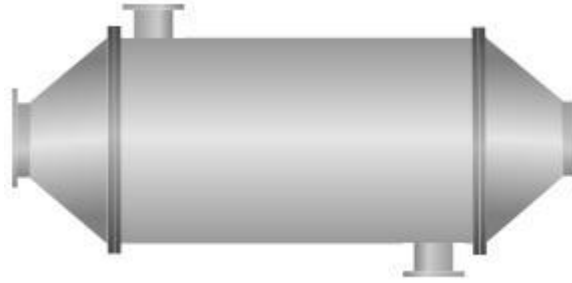
Nispeten temiz duman gazları (doğal gaz, LPG, vb. yakıtlardan elde edilen) ve sıcak hava gibi ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılırlar. Şekil 4.22’de şematik olarak gösterilmiştir. Yüksek basınçlarda dirsek dönüşlü (U) borulu, düşük basınçlarda düz borulu tipleri kullanılır. Küçük hacimler içine çok büyük yüzeyler sığdırılabildiğinden, kapasite/hacim oranları yüksektir. Maliyet/kapasite oranları düşüktür.



Şekil 4.7: Kanatlı borulu ekonomizer şematik gösterimi [30].

4.6.4 Duman Borulu Ekonomizerler

Duman gazlarındaki kirlilik değerlerinden etkilenmeyen yapıda olduğu için, her çeşitteki atık gaz mekanizmalarında kullanılabilirler. Eşanjör modelindedirler. Düşük bir ısı transfer katsayılarına sahip olduklarından işgal ettikleri alan ve hacim diğer tiplere göre çok fazladır. Birçok özel durumda kullanımı mevcuttur. Şekil 4.23'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Duman borulu ekonomizer şematik gösterimi [30].

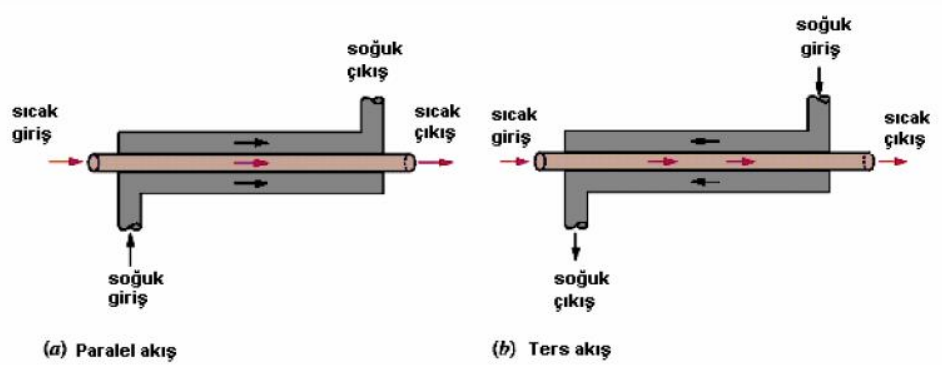
5. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN ISIL HESAPLAMALARI

Isı değiştiricilerin tasarımımda en önemli problem performans ve boyuttur. Isı değiştiricisinin performansına etki eden faktörler akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, minimum basınç düşüşü, uygun ısı transfer yüzeyi ve akışkanın geçiş kademesi sayılabilir. Isı değiştiricilerin boyutlarına etki eden faktörler ise ısı değiştiricisinin seçilen tipi, sıcak ve soğuk akışkanın karşılaşması, akış oranı, basınç kayıpları ve akışkanın giriş çıkış sıcaklıklarıdır [27].

Önceki bölümlerde ısı değiştiriciler hakkında teorik konulardan bahsetmiştik. Isıl hesaplamalar için, parametreler arasında; toplam ısı geçiş katsayısı, ısı geçişinin olduğu yüzeyin toplam alanı ve akışkanların giriş-çıkış sıcaklıkları en önemlileri olarak sayılabilir. Hesap kısmında kullanılan bu parametrelerin doğru belirlenmesi, yatırımı planlanan projenin uygulanma kararı verilmesi için oldukça önemlidir.

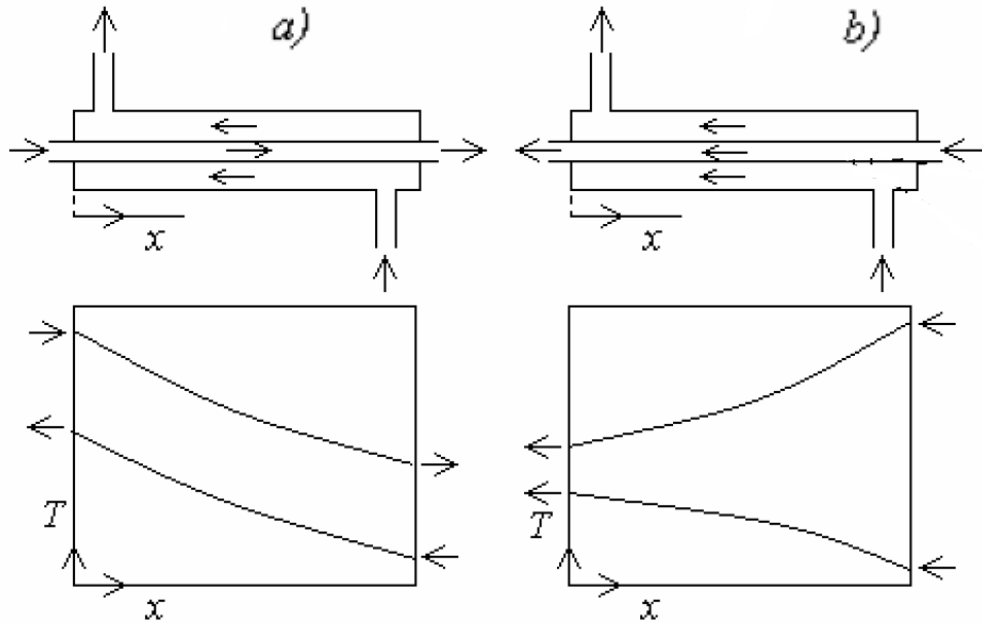
5.1 Akış Şekline Göre Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması

Isı değiştiricileri, akış yörüngelerine göre de paralel, ters ve çapraz olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir. Bu üç tür şematik olarak şekil 5.1'de gösterilmektedir. Şekil 5.1 de (a) paralel akış, (b) ters akış ve (c) çapraz akış olarak gösterilmiştir. Paralel akışlı ısı değiştiricilerinde farkı akışkanlar sisteme bir ucundan aynı anda girerler ve diğer taraftan ayrılırlar. Ters akışlı değiştiricilerde akışkanlar birbirlerine karşılıklı yönde akarlar. Çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde akışkanlardan biri diğer akışkanın aktığından başka bir düzlemde çıkmaktadır. Çapraz akışlı düzenekte akış, iki farklı şekilde adlandırılır: karışmış ve karışmamış. Fakat düzenekte boru içindeki akışkan dik yönde bir hareket kapasitesine sahip değilse, boruların dış kısmında akan akışkan da dik yönde hareket edebilme yeteneğine sahipse bu ısı değiştiricisine karışmamış-karışmış çapraz akış (unmixed-mixed cross flow) ısı değiştiricisi denmektedir [33].



Şekil 5.1: Tek geçişli ısı değiştiricilerin akış şekillerine göre sınıflandırılması [27].

Şekil 5.2 (a)'da paralel akımlı (b)' de ise ters akımlı sistemlerdeki sıcaklık değişimi görülmektedir. Burada her iki akışkan arasındaki sıcaklık farklılığı paralel modele göre ısı değiştirici uzunluğu boyunca daha az bir değişim göstermektedir. Paralel akışlıda ise ısı değiştiricinin giriş noktasında sıcak akışkan en sıcak, soğuk akışkan ise en soğuk konumdadır.



Şekil 5.2: Ters ve paralel akımlı ısı değiştiricilerde akışkan sıcaklığı değişimi [34].

5.2 Isı Değiştiricilerin Isıl Hesaplamaları

Daha önce sınıflandırdığımız ısı değiştiricilerini termodinamiğin birinci yasasına göre incelersek; kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilerek, kararlı hal koşullarında ve açık sistem oldukları düşünöldüğünde;

$$\delta Q = m \cdot dh \quad (5.1)$$

denklemini yazılabilir. (5.1) denklemini entegre ederek (5.2) elde edilir.

$$Q = m \cdot (h_g - h_ç) \quad (5.2)$$

Burada m Kütlesel debi (kg/h) , h_g Giren akışkanın entalpi değerini . $h_ç$ Çıkan akışkanın entalpi değerini ve Q ise de Isı değiştiricide geçen ısıyı ifade etmektedir.

Bu sistemlerin adyabatik olarak çalıştığı (dış yüzeylerinin çok iyi yalıtıldığı) varsayılırsa enerji korunumu ilkesini sıcak ve soğuk akışkanlar için yazdığımızda (5.3) ve (5.4) denklemleri elde edilir.

Sıcak akışkan için;

$$Q = \dot{m}_h \cdot (h_{hg} - h_{hç}) \quad (5.3)$$

Burada \dot{m}_h Sıcak Akışkanın kütlesel debisini, h_{hg} giren sıcak akışkanın entalpi değerini (kg/h), $h_{hç}$ çıkan sıcak akışkanın entalpi değerini ifade etmektedir.

Soğuk akışkan için ise ;

$$Q = \dot{m}_c \cdot (h_{cç} - h_{cg}) \quad (5.4)$$

Burada $h_{cç}$ çıkan soğuk akışkanın entalpi değerini , h_{cg} giren soğuk akışkanın entalpi değerini ifade etmektedir.

Eğer faz değişimi söz konusu değilse entalpi değişimi özgül ısılar cinsinden ifade edilebilir.

Yani sıcak akışkan için;

$$Q = (\dot{m}C_p)_h \cdot (T_{hg} - T_{hc}) \quad (5.5)$$

Soğuk akışkan için;

$$Q = (\dot{m}C_p)_c \cdot (T_{cg} - T_{cc}) \quad (5.6)$$

Pratikte ısı değiştiricilerin dışarıya karşı yalıtıldığı, sıcak akışkanın verdiği ısının tamamının soğuk akışkana geçtiği yani ortamda bir ısı kaybının olmadığı varsayılırsa, aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

Bu bakışla Q için Isı değiştiricide geçen ısı, Sıcak akışkanın soğurken verdiği ısı ve Soğuk akışkanın ısınırken aldığı ısı tanımlamalarını yapabiliriz.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (5.7)$$

(5.7) denkleminde U ($W/m^2\text{°C}$) ısı değiştiricisi toplam ısı transfer katsayısını, A (m^2) akışkanlar arasındaki ısı geçiş yüzeyini ve ΔT_m (°C) sıcak ve soğuk akışkan arasındaki logaritmik ortalama sıcaklık farkını tarif eder.

5.2.1 Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesabı

Bir ısı değiştiricinin ısı analizinde ilk etken iki akışkan arasında mevcut bulunan ısı transfer katsayısının hesap edilmesidir. Çalışan sistemlerde çalışma esnasında akışkan içinde yer alan metal tuzları veya çeşitli kimyasal elemanlar ısı değiştiricilerin yüzeylerinde bir süre sonra birikime yol açabilir ve bu birikim de akışkan yüzeyinde kirlenmeye sebep olabilir. Ayrıca bu yüzeylerde akışkan içeriğindeki bileşenler veya malzeme yüzeyi özelliklerine bağlı olarak korozif etkiler nedeniyle bir kirliliği tabakası da oluşabilir. Bu tür birikim veya kirlenmelerin sebep olduğu etkenler akışkanlar arasındaki ısı geçiş direncini artırır. Buna *kirlilik direnci (veya faktörü)* (R_f) adı verilir ve bu faktörün değeri çalışma sıcaklığına, akışkan hızına ve ısı değiştiricisinin işletmede kaldığı süreye bağlıdır. Bunun yanı sıra, yüzey alanı arttırmak amacıyla akışkan yüzeylerine eklenen kanatlar, ısı taşımını sırasındaki ısı direnci azaltır ve bu ısı dirençler toplam ısı transfer

katsayısını belirlemek için en önemli bileşenlerdendir. Isıl dirençler; akışkanın boru boyunca karşılaştığı dirençlerinden ve yüzeyde oluşan kirliliğe bağlı kirlilik faktöründen oluşmaktadır. Tüm bu tanımlamalara göre toplam ısı transfer katsayısı (5.8) ile bulunur[35]

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h} = \frac{1}{(\eta_0 h A)_c} + \frac{R''_{f,c}}{(\eta_0 A)_c} + R_w + \frac{R''_{f,h}}{(\eta_0 A)_h} + \frac{1}{(\eta_0 h A)_h} \quad (5.8)$$

Burada c indisi soğuk akışkanı, h indisi ise sıcak akışkanı göstermektedir.

Her ne kadar Tablo 5.1' de kirlilik faktörleri ile ilgili bazı değerler verilmiş olsa da bu faktörler (temiz yüzey üzerine tortuların zamanla birikmesiyle) ısı değiştiricinin çalışma süresine bağlı olarak değişir.

Tablo 5.1: Bazı akışkanlarda kirlilik faktörleri [35].

Akışkan	R_f (m^2K/W)
50° C altında kazan besleme suyu	0.0001
50° C altında kazan besleme suyu	0.0002
Fuel oil	0.0009
Soğutucu akışkanlar	0.0002
Su buharı	0.0001

Denklem (5.8)' de görülen η_0 değeri, kanatlı yüzeyin toplam yüzey etkinliği olarak adlandırılır. Isı geçişini hesaplamak için bu değerden faydalanılır.

$$q = \eta_0 h A (T_b - T_\infty) \quad (5.9)$$

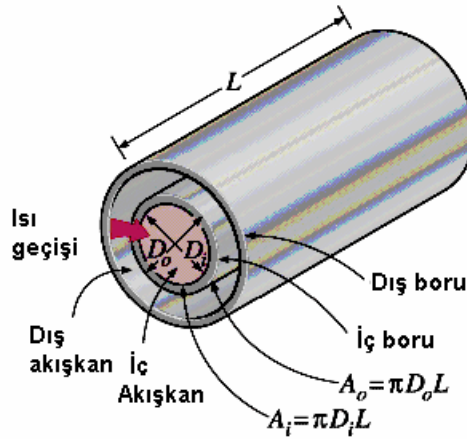
$$\eta_0 = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f) \quad (5.10)$$

$$\eta_f = \tanh(mL)/mL \quad (5.11)$$

$$m = (2h/kt)^{\frac{1}{2}} \quad (5.12)$$

Bu formülasyonda T_b Taban yüzey sıcaklığını ifade ederken, A Toplam kanat yüzey alanını, L Kanat uzunluğunu, A_f Tek bir kanat yüzey alanını, η_f Tek bir kanat etkinliğini ve t Kanat et kalınlığını ifade eden değerlerdir.

Çoğunlukla bir taraftaki ısı taşınım katsayısı diğer tarafa göre daha küçük olabilir. Dolayısıyla et kalınlığının az dolayısı ile ısı iletim katsayısının büyük olduğu durumlarda cidar iletim ifadesi (R_w) ihmal edilebilir. Örneğin, iki akışkanın olduğu bir ortamda akışkanlardan biri gaz, diğeri ise çalışma prensibi gereği sıvı veya sıvı-buhar karışımı olsun. Bu örnekte çalışma prensibi gereği akışkan kaynama veya yoğunlaşma fazlarında olabilir. Bu iki fazlı bir akışta, gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısı, akışkanın olduğu tarafa göre çok küçüktür. Bu tip durumlarda, gaz tarafındaki ısı taşınım katsayısını artırmak üzere gaz akışkanın olduğu tarafa kanatlar eklenir.



Şekil 5.3: Kanatsız borulu ısı değıştircisi [34].

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R''_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R''_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (5.13)$$

Şekil 5.3'teki kanatsız borulu ısı değıştircileri için toplam ısı geçiş katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu hesabı yapabilmek için, sıcak ve soğuk akışkanların ısı taşınım katsayıları, kirlilik faktörleri ve geometrik parametreleri dikkate alınarak (5.13) denklemi yazılır.

5.2.2 Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkının Kullanılması

Termodinamiğin 2. yasası gereği, ısı değiştiricilerinde akışkanların sıcaklıkları noktadan noktaya değişmektedir. Bununla birlikte sabit ısı direnç için, ısı değiştirici boyunca ısı geçiş oranı da değişecektir. Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki fark ne kadar fazla ise, değişim de o ölçüde artacaktır. Sıcaklık farkının değişken olması, akışkan logaritmik ortalama sıcaklık farkı hesabının kullanılmasını gerektirir.

Ortalama logaritmik sıcaklık farkı metodunda öncelikle logaritmik sıcaklık farkı bulunur. Akışım şekline bağlı bir "F" (düzeltme faktörü) hesaplanır. Daha sonra toplam ısı transfer katsayısı ve yüzey alanı hesaplanır. Bunun sonucunda çıkan değerler kullanılarak toplam ısı geçiş değeri olan "q" hesaplanır. Burada hesaplanan "q" değeri, ısı değiştiriciden bulunduğu ortama bir ısı kaybı olmadığı durumda hesaplanan "q" değeridir. Yani hesap yapılırken potansiyel ve kinetik enerji ihmal edilmiştir. Bu tanımlamada, enerjinin korunumu yasası ile (5.14) elde edilir. Bu iki formülde ifade edilen durum ise giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olduğu durumudur.

$$q = m_h(i_{h,g} - i_{h,\zeta}) \quad (5.14)$$

$$q = m_c(i_{c,\zeta} - i_{c,g}) \quad (5.14)$$

Bu denklemde g akışkan entalpisini ifade ederken , h ve c indisleri sırasıyla sıcak akışkan ve soğuk akışkanı ifade etmektedir. Alt indis olarak i giriş koşulları alt indisi, ç çıkış koşulları alt indisidir.

Akışkanların özgül ısıları sabit kabul edilirse ve herhangi bir kaynama, yoğuşma gibi faz değişimi olmuyorsa, (5.15) denklemi elde edilir:

$$q = m_h C_{p,h}(T_{h,g} - T_{h,\zeta}) \quad (5.15)$$

$$q = m_c C_{p,c}(T_{c,\zeta} - T_{c,g}) \quad (5.15)$$

Buradaki yer alan sıcaklıklar, sistemdeki akışkanın sıcaklıklarını tarif etmektedir.

Ortalama logaritmik sıcaklık farkı ise:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 - \Delta T_2)} \quad (5.16)$$

Isı değiştircilerinin tüm tipleri için ortalama logaritmik sıcaklık farkının hesaplanması oldukça karmaşıktır. Giriş ve çıkış sıcaklıklarının aynı olduğu zamanlarda, paralel akıştaki logaritmik sıcaklık farkı, ters akıştakinden daha küçük olur. Bunun sonucunda, belirli bir ısı geçişi q ve aynı U toplam ısı transfer katsayısı için paralel akışlı ısı değiştircisindeki ısı geçiş alanı, ters akışlıya göre daha büyüktür. Bunun yanı sıra ters akışlı örneklerde, ısı değiştirciden çıkan akışkanlarda, soğuk akışkan çıkış sıcaklığı ($T_{c,\zeta}$), sıcak akışkanın çıkış sıcaklığından ($T_{h,\zeta}$) fazla olabilir. Ancak bu tarif edilen senaryo paralel akışlı ısı değiştircilerde söz konusu değildir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Enerji tasarrufu, enerji arz hizmetlerinin azaltılması veya kısıtlanması şeklinde algılanmamalıdır. Enerji tasarrufu kullanılan enerji miktarının değil, ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasını ifade eder. Yani enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirleyerek israfı minimum düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan tedbirlerin bütünüdür. Aynı enerji ile daha fazla iş yapılması veya aynı iş için daha az enerji tüketilmesi kayıpların en aza indirilmesine de olanak sağlayacaktır. Böylece, üretici konumundaki endüstriyel işletmeler ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü arttırabilirler.

Enerji tasarrufu için yapılacak uygulamalar iyi planlanmalıdır ve bütün çalışanların üst seviyede motivasyonu ile katkı sağlayacağı disiplinli bir çalışma gerektirir. Böylece, üst yönetimden alt düzeyde çalışanlara kadar tüm organizasyonda enerji tasarrufu bilinci oluşturmak enerji tasarrufu çalışmalarının başarıya ulaşmasını sağlayacaktır. Enerji tasarrufu ile ilgili bilgi eksiklikleri giderilerek, bunun bütün işletme çapında benimsenen bir felsefe olması gerekmektedir. Böylece işletmenin tüm kaynakları enerji tasarrufu uygulamalarına dahil edilebilir ve her aşamadaki çalışanların bu çalışmalara daha fazla bağlılık duyması sağlanabilir. Enerji yönetimi mantığında insan faktörü de önemlidir. Sadece teknoloji değil insanlar da enerjiyi kontrol eder, kullanır ve tasarruf ederler.

İlk olarak endüstriyel işletmede ne oranda enerji tüketildiğinin tespiti yapılmalıdır. Bundan dolayı doğru seçilmiş ve kalibrasyonu yapılmış ölçüm ekipmanlarıyla en az 3 tekrarlı ölçümler yapmak ve bu ölçümleri kayıt altında tutmak gerekmektedir. Enerji tüketim değerleri belirlendikten sonra sırasıyla aşağıdaki aşamalar izlenmelidir:

- Enerji tasarrufu çalışmaları için ilk olarak ön enerji analizi gerçekleştirilmesi
- Ön enerji analizi neticelerinin incelenip yorumlanması ve buna bağlı olarak gerçekçi hedef tespiti
- Bu hedefe ulaşmak için gerekli yöntem ve etkin iş planının belirlenmesi
- Enerji tasarrufu çalışmaları için uzman ekibin oluşturulması

- Ayrıntılı enerji analizi çalışması ile çalışma planının güncellenmesi ve müdahale planının oluşturulması
- Gerekli finansal kaynakların tespiti
- İnsan gücünün temin ve tesis edilmesi
- Enerji tasarrufu çalışmalarının devamlı analizi ve bu analiz sonuçlarının yorumlanması
- Enerji tasarrufu çalışmalarının fayda-maliyet analizleri ile desteklenerek belirlenen hedeflerin revizyonun yapılması.

6.1 Grammer Fabrikasına Genel Bakış

1880 yılında Almanya’da kurulan Grammer, bugün dünya genelinde 8000’in üzerindeki çalışanı, 22 firması ve faaliyet gösterdiği 17 ülkeye gerçek anlamda bir ‘Dünya Markası’ olduğunu kanıtlamıştır. Araç içi donanım malzemeleri, sürücü koltuğu ve yolcu koltuğu üretiminde en güçlü, en yaygın üretim ve hizmet ağına sahip olan markanın gelişmiş teknolojilere yaptığı yatırım, insana ve çevreye verdiği değer tüm sanayi kuruluşları bakımından örnek alınması gereken bir model olmuştur. 1986 yılında Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi’nde 20.000 metrekare alanda 150 çalışanı ile faaliyete başlayan Grammer A.Ş. bugün 700’den fazla çalışanıyla Türkiye ve Dünya pazarına hitaben üretimini devam ettirmektedir. Dış pazarda Steyr-MAN ile ihracata başlayan Grammer A.Ş., Daimler-Chrysler -Almanya, MAN –Almanya, RVI/DAF -Fransa ve Iveco -İtalya firmaları ile çalışmalarını sürdürmektedir. Günümüzde Avrupa ve Amerika pazarının yanı sıra İran, Irak ve İsrail’e ihracatı devam etmektedir. İç pazarda ise MAN Türkiye A.Ş., Mercedes Benz Türkiye, Temsa, BMC, Ford-Otosan, Otokar, Isuzu, ASKAM, Uzel, Başak Traktör, Mastaş Erkunt Traktör, John Deere ve TÜVESASAŞ firmalarına yelpazesindeki tüm ürünleriyle hitap etmektedir. Fabrika yıllık üretim miktarı 400-450 bin adet bandındadır. Üretilen ürünlerin %70’i ihracata giderken kalan %30’luk kısmı iç pazara gönderilmektedir.

Enerji tasarrufuna yönelik bu çalışma Grammer Fabrikasının boya kurutma fırın kısmında yürütülmüştür. Yakıt olarak doğalgaz kullanılan kurutma fırınları bacaları

enerji verimlilik incelemesi yapılarak baca gazı atık ısısından enerji geri kazanımı sağlamaktır.

6.2 Doğalgaz'ın Özellikleri ve Yanması

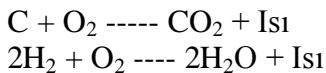
Doğal gaz saf haliyle renksiz ve kokusuzdur. Doğal gaz yanıcıdır ve yakıldığında bol miktarda enerji verir. Bununla birlikte diğer fosil yakıtların aksine doğalgazın yanması temizdir ve hava kirletici zehirli gazları yayma seviyesi düşüktür. Evimizi ısıtmak, yiyecekler pişirmek ve elektriğimizi üretmek için sürekli enerji gerektirdiğinden doğal gaz, toplumumuzda ve hayatımızda yüksek önem kazanmıştır. Doğalgaz esasında yanıcı bir hidrokarbon gaz karışımıdır. Doğal gaz başta metan olmakla birlikte etan, propan, bütan ve pentanı da içerebilir. Doğal gazın bileşimi çok çeşitlilik gösterebilir ancak aşağıda rafine edilmeden önce doğal gazın tipik karışımı Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Doğalgaz Bileşenlerinin Genel Oranları [36].

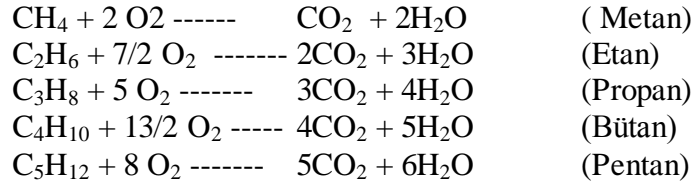
Bileşen	Sembol	Oran
Metan	CH ₄	% 70 - 90
Etan	C ₂ H ₆	% 0 - 20
Propan	C ₃ H ₈	
Bütan	C ₄ H ₁₀	
Karbon Dioksit	CO ₂	% 0 - 8
Oksijen	O ₂	% 0 - 0,2
Nitrojen	N ₂	% 0 - 5
Hidrojen Sülfid	H ₂ S	% 0 - 5
Diğer Gazlar	A, Ne, He, Xe	Eser miktarda

Yanma, karbon ve bazı diğer elementleri içeren yakıtın oksijenle yükseltgenme reaksiyonudur. Bu reaksiyon çok hızlı olursa ve şok dalgalarıyla iletilirse patlama (detonasyon), kondüksiyonla iletilir ve yavaş olursa kontrollü yanma (kombüstyön, deflagrasyon) söz konusudur.

İdeal bir durumda C ve H'nin tam yanması durumunda yanma denklemi şu şekildedir;



Doğalgaz yanma denklemleri ise şu şekilde gösterilmektedir;



6.3 Enerji Verimliliği ve Performans Göstergeleri

Bir işletmenin enerji verimliliğini ve performansını değerlendirmek, gereken karşılaştırmaları ve hesaplamaları yapabilmek için bazı parametreler geliştirilmiştir. Bu parametrelerin en çok kullanılanları Spesifik Enerji Tüketimi (SET) ve Enerji Yoğunluğu'dur. Spesifik enerji tüketimi (SET) en basit ifadeyle, birim ürün başına kullanılan enerjidir. Bir fabrikada spesifik değişken, yani üretim, ton ile ifade edilir. Bu durumda:

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi (SET)} = \frac{\text{Toplam Enerji Tüketimi}}{\text{Toplam Üretim}} \quad (6.1)$$

Bir işletmenin performansının değerlendirilmesi, hedeflenen enerji kullanımı ile gerçek enerji tüketim değerlerinin düzenli olarak karşılaştırması ile yapılır. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için SET değerleri kullanılır. Özellikle çeşitli işletme şartlarının fabrika üretim performanslarına etkisini izleme açısından da önemlidir. SET değerinin büyümesi enerji tüketiminin gereksiz yere arttığına ve iyi olmayan performansı gösterir. Üretimden bağımsız olan enerji tüketimi fazla ise; üretim artışı ile SET değerini düşürmek mümkündür. Ama üretime bağlı olmayan enerji miktarı kullanılan ekipmanların kapasitelerine, mevcut işletme koşullarına bağlı olduğundan bunlarda yapabilecek fazla bir şey yoksa sabit kalacaktır. Bundan dolayı, üretimin artması ile SET değeri azaltılabilirken, ikinci bir yol olarak da, verimlilik artırıcı projeler geliştirilmelidir. Bu da enerji tasarrufu sağlayacak tedbirlerin alınması, atık ısının değerlendirilmesi, izolasyonların tamamlanması, yanma kontrolleri vb. ile sağlanır.

Enerji Yoğunluğu, genel tanımıyla, gayri safi milli hasıla başına tüketilen enerji miktarı olarak adlandırılır. Enerji yoğunluğunun düşmesi, enerjinin verimli

kullanıldığıının en temel göstergelerinden biridir. Endüstriyel işletmelerde ise, enerji yoğunluğu toplam eş değer petrol (TEP) cinsinden yazılan toplam enerji tüketiminin toplam ciroya olan oranıdır.

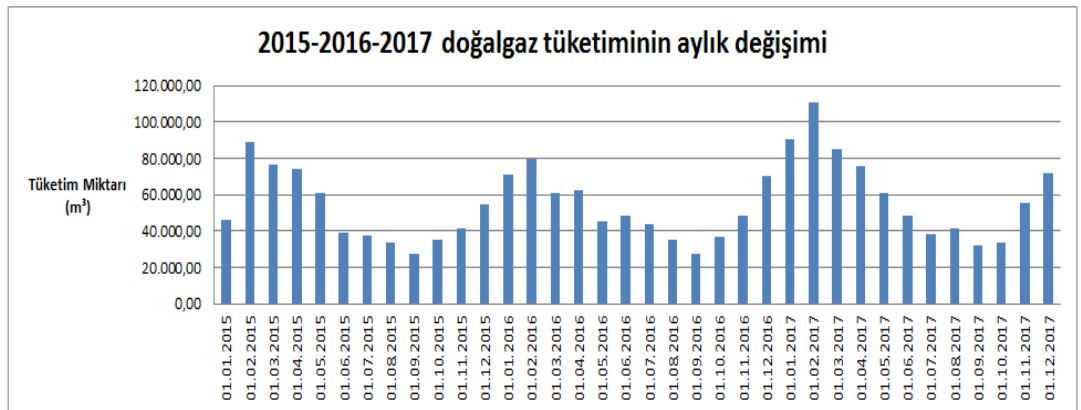
2007’de çıkan Enerji Verimliliği Kanunu çerçevesinde yıllık enerji tüketimi 1.000 TEP’in üstünde olan işletmeler enerji yöneticisi bulundurmak zorundadır.

$$Enerji\ Yoğunluğu = \frac{Toplam\ Enerji\ Tüketimi}{Toplam\ Ciro} \quad (6.2)$$

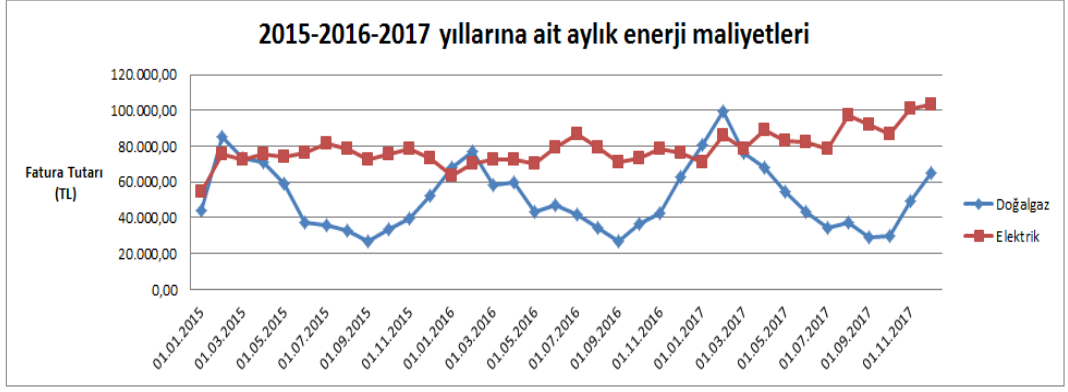
İşletmeler enerji maliyetlerini azaltmak ve daha verimli çalışmak için enerji yoğunluklarını azaltmaya çalışmaktadır. Henüz kanunda herhangi bir zorunluluk olmasa da gönüllülük çerçevesinde, bir işletme Elektrik İşleri Etüt İdaresine (EİE) enerji yoğunluğunu 3 yıl içinde %10 azaltacağını taahhüt edebilir. Böylece işletme kendisine bir hedef belirlemiş ve bu hedef doğrultusundaki çalışmalara hız kazandırmış olur.

6.4 İşletmenin Enerji Tüketimi Analizleri

Grammer fabrikasında yapılan analizlerde genel olarak enerji tüketiminin üretim ile paralel olduğu belirlenmiştir. Üretim arttıkça elektrik ve doğalgaz tüketimi de artmış; azaldıkça azalmıştır. Bunun yanı sıra mevsimlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisi de Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’ de açık bir şekilde görülmektedir. Kış aylarında artan doğalgaz tüketimi artınca toplam enerji tüketimi arttığı için SET ve Enerji Yoğunluğu değerlerinde de artış olmuştur.

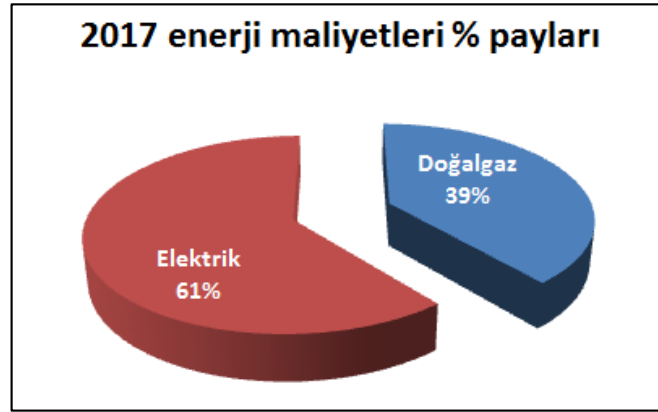


Şekil 6.1: 2015-2016-2017 doğalgaz tüketiminin aylık değişimi [37].

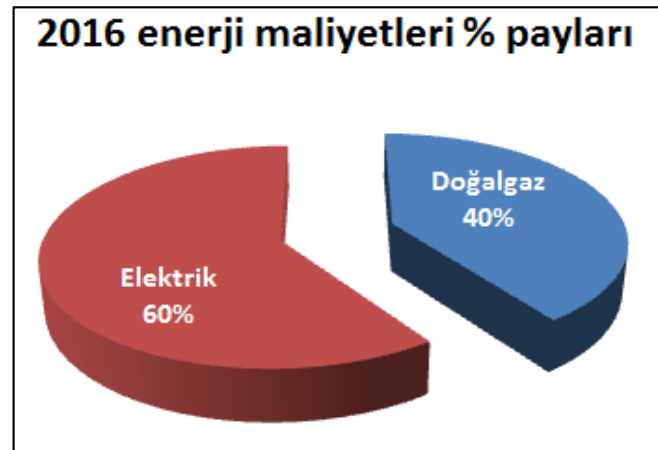


Şekil 6.2: 2015-2016-2017 yıllarına ait aylık enerji maliyetleri [37].

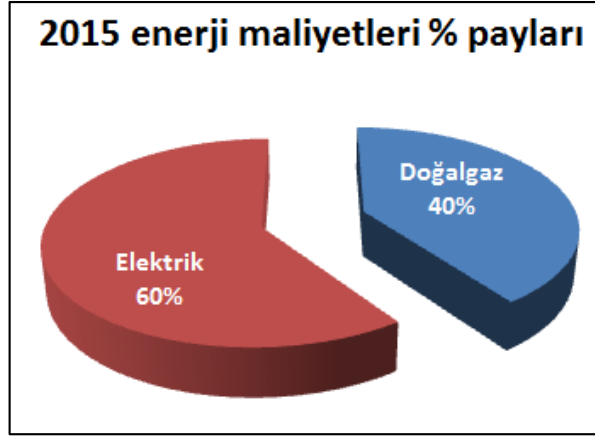
İlave olarak Şekil 6.3’den Şekil 6.5’e kadar, 2015-2016-2017 yıllarına ait doğalgaz ve elektrik tüketim maliyetlerinin % paylarında pek bir değişiklik olmadığı görülmüştür.



Şekil 6.3: 2017 yılı enerji maliyetleri % payları [37].



Şekil 6.4: 2016 yılı enerji maliyetleri % payları [37].



Şekil 6.5: 2015 yılı enerji maliyetleri % payları [37].

6.5 Fırınlara Analizi

Fırınlara endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan ünitelerden biridir. Enerji tüketimlerinin oldukça yüksek olması nedeniyle, enerji verimliliğini artırma açısından yüksek potansiyele sahiptir. Fırınlarda yapılacak iyileştirme çalışmaları ile kullanılan yakıt oranını büyük ölçüde azaltmak ve işletmenin genel verimini arttırmak mümkündür. Endüstriyel fırınlarda yanma sonucu ortaya çıkan egzoz gazları sıcaklığı, ısıtılan ürün sıcaklığından daha fazladır. Bu gazlar fırını terk ederken, fırına verilen enerjinin yaklaşık %30 – 40'ı bacadan dışarı atılır. Bacadan atılan oldukça yüksek sıcaklıklı gazlar yakma havasının ön ısıtılmasında ya da işletmenin ihtiyaç duyduğu diğer proseslerde ön ısıtma için kullanıldığında enerji veriminde ciddi artış sağlamak mümkündür.

Fırınlara verimliliği incelenirken dikkat edilmesi gereken birçok unsur vardır. Bunların en önemlileri, fırın tipi, üretim hızı, proses türü, hava-yakıt oranı, ürünlerin giriş-çıkış kapıları, ürün taşıyıcı askılar ya da konveyörler ve yalıtımdır. Öncelikle işletmenin prosesine en uygun fırın tipi belirlenmelidir. Yüksek verimli brülörler kullanılmalı, hava kaçakları kapatılmalı, yakma havası önceden ısıtılmalı, fazla hava ve nem olmamasına dikkat edilmeli, baca gazındaki oksijen seviyesi takip edilmeli ve fırına düzenli bakım yapılmalıdır.

Fırın sistemlerinde en çok karşılaşılan enerji kayıpları yüksek baca gazı sıcaklıkları ve önceden ısıtılmamış yakma havasıdır. Bu kayıpları önlemek,

minimumuna indirmek ve işletmenin genel verimliliğini arttırabilmek için muhakkak fırınlarda ısı geri kazanım sistemi seçenekleri incelenmelidir.

GRAMMER Fabrikası'nda boyahanede birer adet pişirme/kurutma fırını kullanılmaktadır. Bu fırınlarla ilgili teknik bilgiler aşağıdaki gibidir:

Fırın Isıl Kapasitesi :	600.000 kcal/h
Maksimum. Doğalgaz Tüketimi :	80,8 m ³ /h
Maksimum. Baca Gazı Debisi :	1037,62 Nm ³ /h
Baca Gazı Giriş Sıcaklığı :	250 °C
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı :	120 °C
Askı Aralığı :	1,2 m
Konveyör Hızı :	2,44 m/dak

6.5.1 Fırınlarda Enerji Denkliği

Fırınlarda enerji denkliği Giren Enerji = Çıkan Enerji olarak ifade edilir.

Bunu da ;

Yanma Enerjisini; baca gazı kaybının, malzeme enerjisinin, yüzeylerden meydana gelen kayıpların ve diğer kayıpların toplamı şeklinde tarif edebiliriz.

Yanma enerjisini tarif edersek;

$$Q = B_h * HU * \mu \quad (6.5)$$

Burada B_h , saatlik yakıt tüketiminin m³/h cinsinden; HU ise, yakıt alt ısı değerinin kcal/Nm³ cinsinden ifadesidir. Yine bu formülde μ ise Yanma Verimi ifadesidir ve genellikle 0,95 olarak kabul edilir.

İkinci bileşen baca gazı kaybı ise şu şekilde ifade edilir.

$$Q = B_h * V_h * C_p * (T_f - T_a) \quad (6.6)$$

Burada B_h saatlik yakıt tüketiminin m³/h cinsinden, V_h teorik özgül duman gazı, C_p baca gazı özgül ısınma ısısının kcal/Nm³°C cinsinden, T_f baca gazı sıcaklığının °C cinsinden T_a ise ortam sıcaklığının °C cinsinden ifadesidir.

Malzeme enerjisi ise aşağıdaki formül ile gösterebiliriz.

$$Q = m * C_p * (T_f - T_a) \quad (6.7)$$

Bu formülde m, malzeme debisinin kg/h cinsinden, C_p malzeme özgül ısınma ısısının kcal/Nm³°C cinsinden, T_f malzeme sıcaklığının °C cinsinden ve T_a ise ortam sıcaklığının °C cinsinden ifadesidir.

Sıcak yüzeylerden kaybolan enerji miktarı formülü aşağıdaki gibidir.

$$Q = U * A * (T_o - T_a) \quad (6.8)$$

Bu formülde Q enerji miktarının KJ / h cinsinden ifadesidir. Bu formülde U ısı transfer katsayısı U_r + U_c olarak gösterilir ve bu gösterimde U_r radyasyonla ısı transfer katsayısının, U_c ise konveksiyonla ısı transfer katsayısının KJ/hm²°C cinsinden gösterimidir. Yine bu formülde A yüzey alanının m² cinsinden, T_o yüzey sıcaklığı °C, T_a ortam sıcaklığı °C cinsinden ifadesidir.

Radyasyonla Isı Transfer Katsayısı ise aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$U_r = \frac{20.4 * E}{T_o - T_a} * \left[\left[\frac{T_o + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_a + 273}{100} \right]^4 \right] \quad (6.9)$$

Bu formülde U_r radyasyonla ısı transfer katsayısının KJ/hm²°C cinsinden ifadesidir. E yüzey emisyon katsayısıdır. T_o yüzey sıcaklığının °C cinsinden, T_a ise ortam sıcaklığının °C cinsinden ifadesidir.

Konveksiyonla Isı Transfer Katsayısı formülü aşağıdaki gibidir.

$$U_c = B * (T_o - T_a)^{0,25} \quad (6.10)$$

Burada U_c, konveksiyonla ısı transfer katsayısının KJ/hm²°C cinsinden, T_o yüzey sıcaklığının °C cinsinden; T_a ise ortam sıcaklığının °C cinsinden, B ise boru veya yapı şekline göre bir faktör olarak tanımlanır. B için bazı tipik değerler; düşey yüzeyler ve geniş silindirlere için 5,22 olarak, yukarıya bakan yatay yüzeyler için 6,12 olarak, yatay silindirlere için ise de 4,32 olarak kabul edilmiştir.

6.6 Deneyleerde Kullanılan Ölçüm Cihazı Kalibrasyonu

Fırın ve Baca ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazı kalibrasyon bilgileri ek olarak tez sonunda EK-1 Ölçüm Cihazı Kalibrasyon Bilgileri başlığı ile verilmiştir.

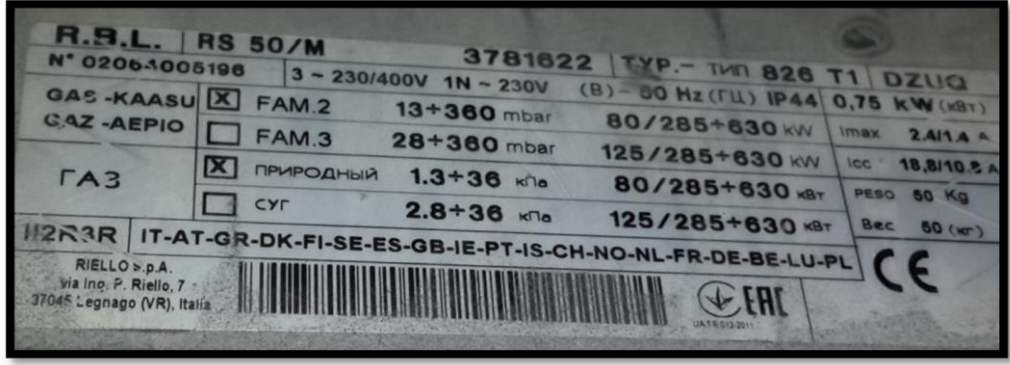
6.7 Grammer Fabrikasında Boya Kurutma Fırını İncelemeleri

Doğalgaz yakıtlı brülör ile ısıtılmakta olan Eisenmann üretimi fırının aşağıdaki resimde gösterilen bacasında baca gazı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bacayı besleyen brülör Riello RS50/M' dir. RS/M serisi brülörler, 70 ile 2.650 kW kapasite aralığında olan orta ve düşük sıcaklıktaki sıcak su, sıcak hava veya buhar kazanları için dizayn edilmiştir. Brülörlerin oransal çalışması PID kontrol cihazı ve uygun sıcaklık/basınç transmitteri ile sağlanmaktadır. Yakıt tüketimi ve maliyetlerinin azaltılmasını sağlayan yüksek yanma verimliliğine sahip brülörlerdir.

Baca sıcaklığı şekil 6.7'te görülen Testo 340 cihazı ile gün içerisinde 5 kez ölçülmüştür (ort 188,4°C). Fırın yıllık çalışma süresi; 260gün-yıl x 24saat-gün olup fırın bacasının olduğu bölge ekonomizer uygulaması açısından müsaittir. Buna ek olarak boya kurutma fırını brülörü bilgilerinin bulunduğu etiket şekil 6.6'te verilmiştir.

Termal sistemler için artan yakıt maliyetleri, emisyon ölçümlerini kullanarak, verimlilik takibi yapmayı gittikçe daha çok öne çıkarır. Bununla birlikte "Testo 340" endüstride yaygın olarak kullanılan emisyon ölçümleri için baca gazı analizörüdür.

* Diğer baca ürün tarafında havalandırmayı sağlamaktadır, ana enerji deşarjı ölçülen bacadan olmaktadır (termoblok mantığı).



Şekil 6.6: Boya kurutma fırın brülör etiketi [37].



Şekil 6.7: Boya kurutma fırın bacası ölçümü [37].

6.8 Grammer Fabrikasında Boya Fırını İncelemeleri

Doğalgaz yakıtlı brülör ile ısıtmakta olan Emak üretimi fırının aşağıdaki şekil 6.8’de gösterilen bacasında baca gazı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bacayı besleyen brülör; Baltur TBG 85PN -170-850 kW ‘dır. Baca sıcaklığı Testo 340 ile gün içerisinde 5 kez (ort 284°C) ölçülmüştür. Fırın bacasının olduğu bölge, ekonomizer uygulaması açısından müsaittir.



Şekil 6.8: Boya kurutma fırın bacası ölçümü [37].

6.9 Grammer Fabrikasında Sıcak Su Sistemi

Doğalgaz yakıtlı Alarko (ACK2-1160kW) imalatı sıcak su kazanı ile elde edilen sıcak su, boyahane banyolarında ve süngerhane ortam ısıtmasında kullanılmaktadır. Kazanın brülörü NGN55 T3S 340 Nu-way dir. Şekil 6.9’de gösterildiği gibi süngerhane ortam ısıtması Aldağ marka bir klima cihazı ile sağlanmaktadır. Kazandan çıkan ısıtılmış su, önce Aldağ’a branşman verip arkasından çinko-fosfat banyosu üzerinden boyahaneye kullanıcılara dağılır. Boya

fırınları bacalarından geri kazanılması planlanan enerji ile bu sıcak su devresini ısıtılması planlanmaktadır.



Şekil 6.9: Aldağ marka Süngerhane ortam kliması sıcak su bransmanı [37].

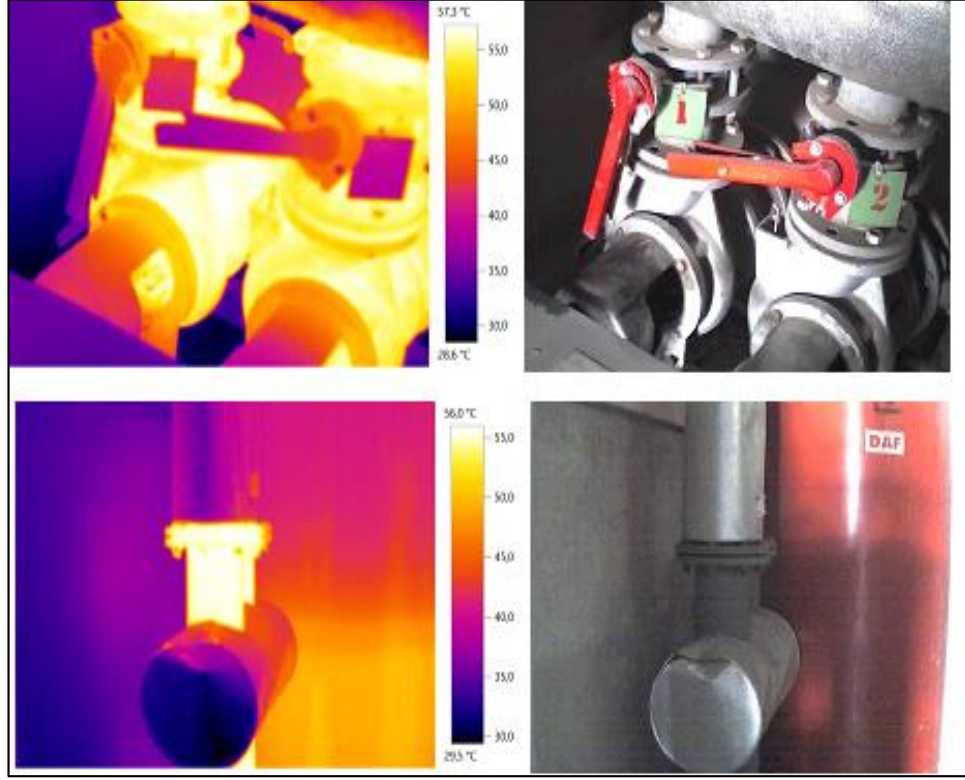
Şekil 6.10'de görülen noktada, sıcak su ana dönüş borusundan bransman alınarak, fırın bacası ekonomizerlerine verilecek ve ısıtılarak tekrar dönüş hattına geri bağlanacaktır. Bu sayede doğalgaz enerjisinden tasarruf edilecektir.



Şekil 6.10: Çinko fosfat banyosu üzeri [37].

Kazan giriş-çıkışında termal kamera ile sıcaklık ölçülmüştür. Şekil 6.11'da termal kamera ölçümleri gösterilmektedir. Ayrıca mevcut termometre ve kazan

Spesifik Enerji Tüketiminden de teyit edilmiştir. Yapılan ölçümlerde $T_{su_gidiş}$ 57,6°C olarak , $T_{su_dönüş}$ ise 55,1°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.11: Termal kamera ölçümleri [37].

Kazan çıkışında, Aldağ klima cihazından önce, ana dönüş hattı üzerinde Ge-TransPort PT878 ultrasonik cihazla debi ölçümü yapılmıştır. (Şekil 6.12 ve 6.13). Ölçüm sonucu elde edilen debi 69,4 m³/h' tir.



Şekil 6.12: Sıcak su ultrasonik debi ölçümü [37].



Şekil 6.13: Sıcak su ultrasonik debi ölçümü sonucu [37].

Isıtılan sıcak su Aldağ klimaya girmektedir ancak klima kapalı olduğu için enerji kullanmamaktadır. Dolayısıyla yapılacak enerji hesabında, kullanılan enerjiyi kullanan tek yer boyahanedir. Yani hesaplanan anlık yük boyahanenin yükünü gösterecektir.

6.10 Enerji Geri Kazanımı için Isıtma Yüğü Hesaplamaları

$$Q = mV * C_p * \Delta T \quad (6.11)$$

Bu denklemde Q Enerjinin ifadesi, mV Hacimsel debinin ifadesi, Cp Isıl kapasite katsayısı (Hacimsel Oranlanmış) ifadesidir.

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \text{Sıcaklık Farkı}$$

Suyun ısı kapasitesi (Cp) 0-80 °C sıcaklıklarda ortalama olarak 1 kcal/kg olarak kabul edilmiştir.

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 57,6 - 55,1 = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Isıtma yüğü (anlık) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q = mV * C_p * \Delta T = 69\ 400 \times 1 \times 2,5 = 173\ 000 \text{ kcal/h}$$

Isıtma yükünün genel ortalaması için fabrika doğalgaz tüketim değeri kullanılmıştır. Doğalgaz, fırın brülörleri dışında başka yakıcılara ve radyant ısıtmalara da verilmektedir.

Tablo 6.2: Grammer fabrikası 2017 doğal gaz tüketimleri.

	kWh	TL
Ocak	953.727	80.809,15
Şubat	1.170.346	99.242,79
Mart	897.470	76.196,25
Nisan	800.397	68.068,37
Mayıs	643.419	54.748,57
Haziran	508.852	43.318,18
Temmuz	402.339	34.262,41
Ağustos	438.798	37.375,90
Eylül	338.823	28.861,18
Ekim	352.607	30.045,10
Kasım	582.060	49.615,64
Aralık	758.782	64.686,74
	kWh	
Ortalama	653.968	
En düşük	352.607	
Yaz ort.	466.446	

Boyahane yıllık çalışma süresi 260gün olarak kabul edilirse aylık çalışma süresi ortalama 520 saat/ay olarak hesaplanır.

Yukarıdaki Tablo 6.2'ye göre yaz dönemi ortalaması ile en düşük aylık tüketim değeri harmanlanarak ve sipariş miktarlarındaki dalgalanma dikkate alınarak 300.000 kW-ay değeri alınacaktır. Bu durumda anlık ortalama tüketim= $300.000 \times 860 / 520 = 496.154$ kcal/h olarak hesaplanır.

Bu tüketimin de yaklaşık %40'ı sıcak su kazanına gidiyor ise bu değer $496.154 \times \%40 = 198.461$ kcal/h olarak hesaplanır.

Sonuç olarak debi ve sıcaklık ölçerek yapılan bu hesap 173 500 kcal/h, doğal gaz tüketiminden giderek yapılan hesap 198 461 kcal/h vermektedir. Bu iki değer

ortalaması olan 180 000 kcal/h ısı enerjisi, bu tasarruf projesinde yerine ikame ısı aranılan kısmı oluşturmaktadır.

Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 ile toplam potansiyel tasarruf hesaplanacaktır.

Tablo 6.3: Boya kurutma fırını enerji geri kazanım hesap tablosu.

Dizayn	Kısaltma	Değer	Birim
RS 50 285 - 630kW Saatlik yakıt miktarı $Bh = Q_{kz}/(H_{ux}\eta_k)$	Bh	62	m ³ /h
Baca gazı ısısı $Q_{bg} = V_{bg}c_{px}(t_{bg}-t_{min})$	Q _{bg}	31 568	kcal/h
Baca Gazındaki O ₂ Oranı		11,84	%
Hava Fazlalık Katsayısı		2,3	
Özgül baca gazı hacmi	v _{bg}	22,83	Nm ³ / m ³
Baca gazı debisi $V_{bg} = B_{hx}v_{bg}$	V _{bg}	1 416	Nm ³ /h
Ekonomizer Verim		0,95	
Isıtılacak su giriş sıcaklığı :		55	°C
Isıtılacak su çıkış sıcaklığı :		80	°C
Isıtılacak su debisi :		1 200	kg/h
	Q _{bg}	29 990	kcal/h
	ΔT	25	°C
	T su_çıkış	80	°C
Baca gazı sıcaklığı	t _{bg}	188,4	°C
Atmosfere atılabilecek baca gazı sıcaklığı	t _{min}	120	°C
Ortalama sıcaklık $t_{ort} = (t_{bg} + t_{min})/2$	t _{ort}	154,2	°C
Ort. sıcaklıkta baca gazı ısınma ısısı	c _p	0,326	kcal/Nm ³ °C
Baca gazı ısısı $Q_{gk} = V_{bg}c_{px}(t_{bg}-t_{min})$	Q _{gk}	31 568	kcal/h
Ekonomizere Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	t ₁	188,4	°C
Ekonomizerden Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	t ₂	120	°C
Ekonomizere Su Giriş Sıcaklığı	t ₃	55	°C
Ekonomizerden Su Çıkış Sıcaklığı	t ₄	80	°C
Logaritmik Sıcaklık Farkı	ΔT _m	84,9	°C
Isı Transfer Katsayısı	K	20	kcal/m ² h°C
Isı Transfer Yüzey Alanı	A	18,6	m ²
Yanma verimi	η _k	90	%
Yakıt alt ısı değeri (Doğalgaz)	H _u	8.250	kcal/kg
Geri kazanılan ısı		29.989	kcal/h
Saatlik yakıt tasarrufu		4,04	m ³ /h

Tablo 6.4: Boya firmı enerji geri kazanım hesap tablosu.

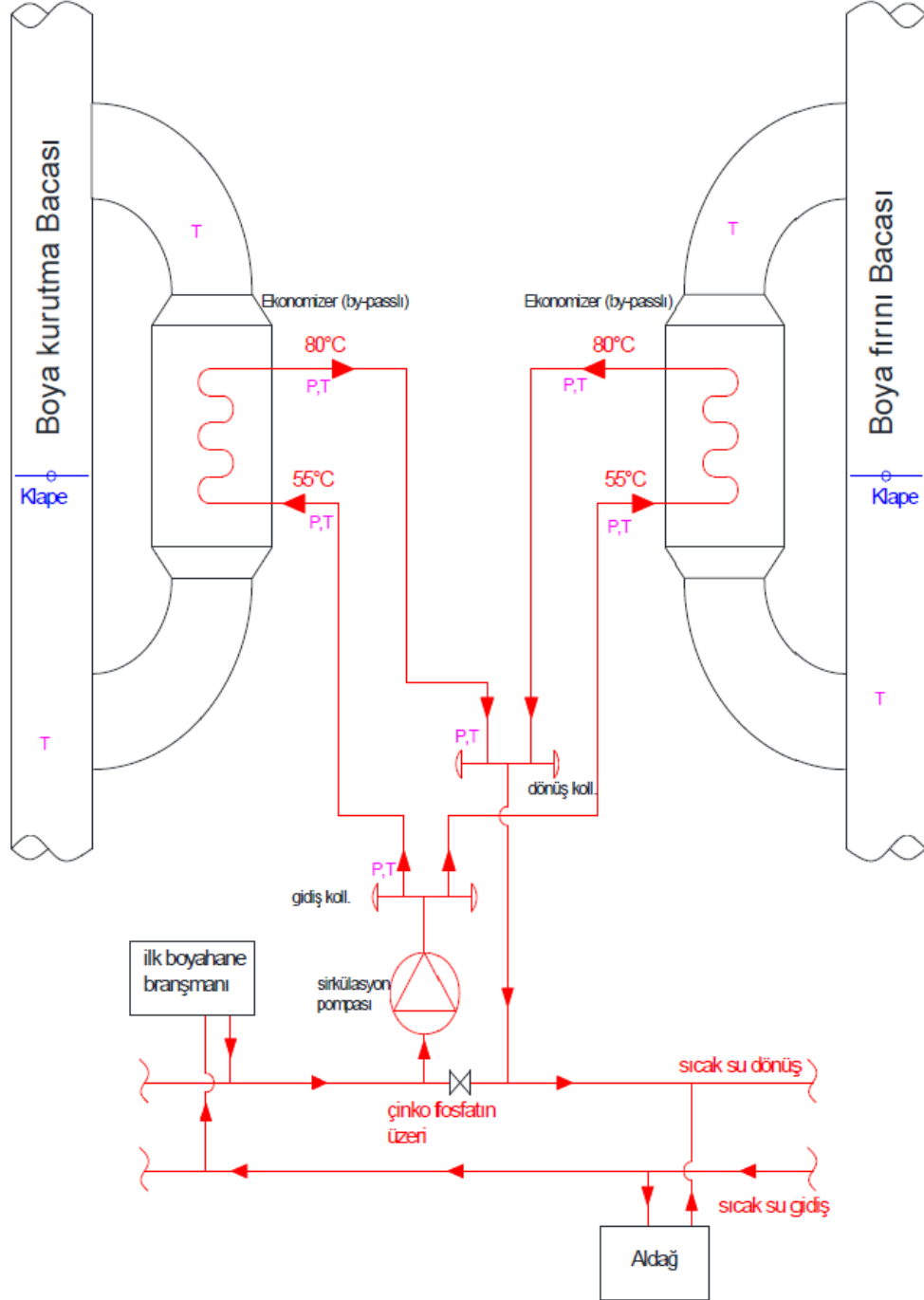
Dizayn	Kısaltma	Değer	Birim
Baltur TBG 85PN 170-850kW Saatlik yakıt miktarı $Bh= Qkz/(Hux\eta k)$	Bh	80	m ³ /h
Baca gazı ısısı $Qbg=Vbgxcpx(tbg-tmin)$	Qbg	48 970	kcal/h
Baca Gazındaki O2 Oranı		1,86	%
Hava Fazlalık Katsayısı		1,1	
Özgül baca gazı hacmi	vbg	11,45	Nm ³ / m ³ Y
Baca gazı debisi $Vbg=Bhxvbg$	Vbg	916	Nm ³ /h
Ekonomizer Verim		0,95	
Isıtılacak su giriş sıcaklığı :		55	°C
Isıtılacak su çıkış sıcaklığı :		80	°C
Isıtılacak su debisi :		1861	kg/h
	Qbg	46 522	kcal/h
	ΔT	25	°C
	T su_çıkış	80	°C
Baca gazı sıcaklığı	tbg	284	°C
Atmosfere atılabilecek baca gazı sıcaklığı	tmin	120	°C
Ortalama sıcaklık $tort=(tbg+tmin)/2$	tort	202	°C
Ort. sıcaklıkta baca gazı ısınma ısısı	cp	0,326	kcal/Nm ³ °C
Baca gazı ısısı $Qgk=Vbgxcpx(tbg-tmin)$	Qgk	48 970	kcal/h
Ekonomizere Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	t1	284	°C
Ekonomizerden Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	t2	120	°C
Ekonomizere Su Giriş Sıcaklığı	t3	55	°C
Ekonomizerden Su Çıkış Sıcaklığı	t4	80	°C
Logaritmik Sıcaklık Farkı	ΔTm	121,5	°C
Isı Transfer Katsayısı	K	20	kcal/m ² h°C
Isı Transfer Yüzey Alanı	A	20,1	m ²
Yanma verimi	ηk	90	%
Yakıt alt ısı değeri (Doğalgaz)	Hu	8 250	kcal/kg
Geri kazanılan ısı		46 521,6	kcal/h
Saatlik yakıt tasarrufu		6,27	m ³ /h

Gelecek durum şemasına göre Toplam Enerji Tasarrufu ve Yatırım Amortismanı hesaplamaları şu şekilde yapılır;

Şekil 6.14'de gösterilen iki firm ekonomizerinde;

Toplam $46.521 + 29989 = 76.511$ kcal/h enerji kazanılır.

Bu enerji geri kazanımı sayesinde doğalgaz yakıtlı sıcak su kazanı gaz tüketiminden;
 $6,27 + 4,04 = 10,31 \text{ Sm}^3/\text{h}$ tasarruf sağlanacaktır.



Şekil 6.14: Ekonomizer uygulanacak sistem şeması [37].

Doğal gaz alt ısıl değeri 8.250 kcal/Sm^3 için; $10,31 \times 8.250 / 860 = 98,85 \text{ kWh}$ ısı geri kazanılacaktır.

2019 Ocak ayı için KDV hariç birim kWh maliyeti 0,129 TL/kWh iken saatlik tasarruf $98,85 \times 0,129 = 12,752$ TL/h olacaktır. Bu durumda yıllık tasarruf da $260\text{gün} \times 24$ saat olarak tanımlanır.

Bu değerlerle yıllık kazanç $12,752 \times 260 \times 24 = 79.572$ TL/Yıl olacaktır. Bunu da USD dolar cinsinden , 1USD yi 5,50 TL kabul ederek, 14.468 USD/Yıl olarak hesaplayabiliriz.

Bu işin yaklaşık yatırım maliyeti 40.000 USD olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki tasarruf hesabına göre amortisman süresi $40.000 / 14.468 = 2,76$ yıl olarak hesaplanmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda, atık ısıdan enerji kazanımı uygulamasının yapılacağı kısım boya kurutma firmı ve pişirme firmı olarak tespit edilmiştir. Atık ısı geri kazanımı uygulamasının yapılmasına karar verildikten sonra, ısı değiştirici tiplerinden ekonomizerin kullanılması, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve amortisman süresinin buna bağlı olarak kısa olmasından dolayı daha uygun olacaktır. Bunlara ek olarak da kullanılacağı yer açısından en uygun ısı değiştirici tipi ekonomizerdir ve sanayide yaygın olarak bulunmasından dolayı bakım onarım faaliyetleri daha kısa süreli ve düşük maliyetlidir.

Bu ölçümlerden ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre; kurutma firmından saatlik 4,04 m³ yakıt tasarrufu , pişirme firmından ise saatlik 6,27 m³ yakıt tasarrufu sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulanacak 2 ekonomizer ile toplamda elde edilen 10,31 m³ saatlik yakıt tasarrufu sayesinde tesisin doğalgaz tüketiminin %10-12 arasında azalacağı ve yatırımın amortisman süresinin 2,76 yıl olacağı hesaplanmıştır.

Buradan da görüleceği gibi hangi tür için hangi sistem kullanılırsa kullanılsın günümüzde enerji fiyatlarının durumu nedeniyle ısı geri kazanımı için harcanacak yatırımların kısa sürede kendini amorti edip devamında kazanç sağlayacağı aşikârdır.

Ayrıca bu tarz tasarruf projelerinin çevre konusunda da etkileri olacaktır. Doğaya salınan atık gazın sıcaklığının %50 ye varan oranda azaltılacak olması özellikle küresel ısınma kavramının gündemden düşmediği günümüzde oldukça olumlu bir durumdur. Yine bu proje kapsamında doğalgaz tüketiminin belirtilen oranda azalmasıyla birlikte doğaya salınan CO₂ miktarının da %10-12 arasında azalacağı görünen bir gerçektir.

Bu tarz enerji geri dönüşüm projeleri; gerek maliyetlerin azaltılması gerekse de çevre konusunda salınımların azaltılması başlıklarında etkili sonuçlar elde edilecek projelerdir.

Yapılacak olan bu ekonomizer uygulamasını takiben, yine enerjinin verimli kullanılması noktasında önerilerimiz; ilk olarak, boyahane pişirme fırınına ısı yalıtımı uygulaması yapılması olacaktır. Bu sayede brülörlerin çalışma frekansı düşecek ve dolayısı ile doğalgaz tüketiminde azalma sağlanacaktır.

İkinci öneri; sıcak su kazanına giren ve kazandan çıkan suyun sıcaklık farkının artırılarak, yani ΔT 'nin büyütülerek kazan veriminin artmasını sağlamak olacaktır. Burada su debisinin de etkili olacağını söyleyebiliriz.

Üçüncü bir öneri de; pişirme fırını brülöründen çıkan atık baca gazı ile elde edilecek sıcak havanın, parça kurutma bölgesinde kullanılması durumunun analiz edilmesi olacaktır. Bu sayede kurutma fırınında mevcutta bulunan brülörün iptalinin sağlanması ya da çalışma frekansının azaltılması ile tasarruf sağlanabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency, “The International Energy Agency”, *IEA Key World Energy Statistics*, 6-8, (2013).
- [2] Gurbuz, A., “Enerji Piyasası İçinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi”, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, 1-7, Karabük, (2009).
- [3] Yılmaz, M., “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, (4), 33-54, (2012).
- [4] Şen Z., “Türkiye'nin Temiz Enerji İmkânları”, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, (2004).
- [5] Bahar, O., “Türkiye’de Enerji Sektörü Üzerine Bir Değerlendirme”, *Muğla Üniversitesi SBE Dergisi*, (14), 35-59, (2005).
- [6] Akova, İ., *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Nobel Yayın Dağıtım, (2008).
- [7] Yuksel, I. ve Kaygusuz, K., “Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4132-4144, (2011).
- [8] International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040 [online], (10 Nisan 2019), [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf), (2016).
- [9] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu 0021/2012 [online], (10 Nisan 2019), <https://www.dunyaenerji.org.tr/wpcontent/uploads/2017/10/ENERJIRAPORU2012UNUM.pdf>, (2012).
- [10] Karadağ, Ç., Gülsaç, I.I., Ersöz, A. ve Çalışkan, M., “Çevre Dostu ve Temiz Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *TUBİTAK Bilim ve Teknik*, (498), 24-27, (2009).
- [11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Mavi Kitap [online], (10 Nisan 2019), <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi%20kitap%202016.pdf>, (2016).

- [12] Türkiye Petrolleri Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu [online], (10 Nisan 2019), https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTO_R_RAPORU_2015.pdf, (2015).
- [13] Enerji Verimli Sanayi Durum Değerlendirmesi [online], (10 Nisan 2019), <http://enerjiverimlisanayi.com/tr/icerik/sanayideenerji-verimliliği/42>, (2015).
- [14] Enerji Enstitüsü Sanayide Enerji Verimliliği [online], (10 Nisan 2019), <http://enerjiensitüsü.de/2014/07/21/sanayide-enerji-verimliliği/>, (2014).
- [15] Madan E., “Seramik Fırınlarda Atık Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı Ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, (2014).
- [16] Energy Education Waste Heat [online], (10 Nisan 2019), https://energyeducation.ca/encyclopedia/Waste_heat, (2014).
- [17] Çomaklı, K. ve Terhan, M., “Sıcak Su Üretimi için Baca Gazı Atık Enerjinin Kullanımı”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (124), 43-51, (2011).
- [18] “MMO Türkiyenin enerji görünümü 2018 Yayın No: MMO/691 [online]”, (10 Nisan 2019), https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf, (2014).
- [19] “EPIAŞ 2017 Yılı Elektrik Piyasası Özet Bilgiler Raporu [online]”, (10 Nisan 2019), https://www.epias.com.tr/wpcontent/uploads/2018/03/EPIAS_2017_Yillik_Bulden_V2.pdf.
- [20] Ammar Y., Joyce S., Norman R., Wang Y. and Roskilly AP., “Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK”, *Applied Energy*, 89, 3–20, (2012).
- [21] Viklund, S. B. and Johansson, M. T., “Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO emission reduction”, *Energy Conversion and Management*, 77, 369–379, doi: 10.1016/j.enconman.2013.09.052, (2014).
- [22] Bendig M., Marechal F. and Favrat D., “Defining ‘Waste heat’ for industrial processes”, *Applied Thermal Engineering*, 61(1), 134–42, (2013).
- [23] Morandin, M., Hackl, R. and Harvey, S., “Economic feasibility of district heating delivery from industrial excess heat: A case study of a Swedish petrochemical cluster”, *Energy*, 65, 209–220, doi: 10.1016/j.energy.2013.11.064, (2014).


- [24] Viklund, S. B. and Karlsson, M., “Industrial excess heat use: Systems analysis and CO emissions reduction”, *Applied Energy*, 152, 189–197 doi: 10.1016/j.apenergy.2014.12.023, (2015).
- [25] Bruckner, S., Liu, S., Miró, L., Radspieler, M., Cabeza, L. F. and Lävemann, E., “Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies”, *Applied Energy*, 151, 157–167, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.147, (2015).
- [26] Coker, K. A., “Chapter 16 Process Integration and Heat Exchanger Networks [online]”, (8 Eylül 2015), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080942421000164>.
- [27] Altınışık, K., *Uygulamalarla Isı Transferi*, Nobel Yayın Dağıtım, (2004).
- [28] Hewitt, G. F., Shires, G.L. and Bott, T. R., Process heat transfer (Vol. 113). *Boca Raton, FL: RC press*, (1994).
- [29] Kakac, S., Liu, H. and Pramuanjaroenkij, A., *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*, CRC press., (2012).
- [30] Demir Makina Ekonomizer Tanıtım Sayfası [online], (10 Nisan 2019), http://www.demirmakina.com/DEMIR%20MAKINA_Ekonomizerler.html.
- [31] Empotek Ekonomizer Sistemleri [online], (10 Nisan 2019), <http://www.empotek.com/sistemcozumleri/8/ekonomizer-sistemleri.html>.
- [32] Eralp Kazan Ürün Tanıtım Sayfası [online], (10 Nisan 2019), <http://www.eralp-kazan.com/urunler/ekonomizerler>.
- [33] Kakac, S., Liu, H. and Pramuanjaroenkij, A., *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*, CRC press., (2012).
- [34] Durmaz, M., “Isı Geri Kazanım Isı Değiştiricilerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
- [35] Dewitt, D. P., Incropera, F. P., *Isı ve kütle geçişinin temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2004).
- [36] Overview of Natural Gas [online], (10 Nisan 2019), <http://naturalgas.org/overview/background/>, (2018).
- [37] Ünlü, O., “GRAMMER Koltuk Sistemleri AŞ. Enerji Verimlilik İncelemesi Teknik Raporu”, (2017).

EKLER

9. EKLER

EK-A Ölçüm cihazı Kalibrasyon Bilgileri

Baca Gazı Analiz Cihazı Kalibrasyon Sertifikaları



industrial services
calibration validation training

Kalibrasyon Sertifikası

Sertifika no.	: BGK140233
Cihaz tanımı	: TESTO 340 Baca Gazı Analiz Cihazı
Analizör ünitesi model no./Seri no.	:
El kontrol ünitesi model no./Seri no.	: 0632 3340 / 02610778
Müşteri envanter no., cihaz	:
Prob tanımı	:
Prob model no.	:
Prob seri no.	:
Müşteri envanter no., prob	:
Müşteri	: ESCON ENERJİ SİSTEMLERİ VE CİHAZLARI SAN.LTD.ŞTİ.
Müşteri adresi	: İSTANBUL
Müşteri ID no.	: 1263952
Sipariş no.	: 7266876
Kalibrasyon Tarihi.	: 05.01.2015

Ölçüm ekipmanı

Tanım	Reg.no.
Test gazları:	
510 ppm CO	8903922
296 ppm NO	8904008
293 ppm SO2	8904007
%3,05 O2	1006773
403 ppm NO2	311371

Tanım	Sertifika.no.	Reg.no.
Testo 400 referans ölçüm cihazı, 0628 0015 probu ile	I31824	1100 0030
DPI 605 basınç kalibratörü	D6378	1100 0035

Ortam koşulları

Sıcaklık	23°C	± 3°C
Nem	50%rF	± 10%rF (%RH)
Basınç	1013hPa	± 25hPa

Ölçüm prosedürü

Gaz ölçümü	Sertifikalı test gazları ile karşılaştırma
Sıcaklık ölçümü	Referans cihaz ile karşılaştırma
Basınç ölçümü	Kalibratör ile karşılaştırma

Fulya Mahallesi Vefa Deresi Sokak Gayrettepe İş Merkezi C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 34394 Şişli / İstanbul
Tel:(212) 217 01 55 • Faks:(212) 217 02 21 • web:www.testo.com.tr • e-mail:infotesto@testo.com.tr



Kalibrasyon sertifika no BGK140233

Ölçüm sonuçları

Referans değerler doğruluğu : Gaz ±%2
Sıcaklık ±0,27°C
Basınç ±0,05 hPa

	Nominal değer	Test edilen cihazın okuma değeri	Sapma
O2 % hacim	3,05	3,1	0,05
CO ppm	496	491	-5
CO ppm	1050		
NO ppm	291		
NO2 ppm	97,8		
SO2 ppm	296		
Sıcaklık (baca gazı) °C	99,8		
Basınç (baca çekişi) hPa	-10,1		

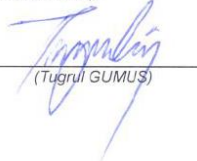
Özel açıklamalar

- Ölçüm değerleri spesifikasyonlar dahilinde
 Ölçüm değerleri spesifikasyonlar haricinde

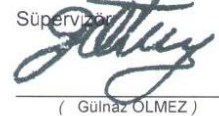
Sertifika tarihi

05-01-2015

Sorumlu kişi


(Tugrul GUMUS)

Süpervizör


(Gülnaz ÖLMEZ)



TÜRKAK
TÜRK AKREDİTASYON KURUMU
TURKISH ACCREDITATION AGENCY
tarafından akredite edilmiş



Kalibrasyon
TS EN ISO IEC 17025
AB-0028-K

AB-0028-K

HK0757

01-15

testo

KALİBRASYON LABORATUVARI

Fulya Mah. Vefa Ceresi Sok. Gayrettepe İş Merkezi
C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 34394 Şişli / İstanbul
Tel: 0212 217 01 55 Faks: 0212 217 02 21
http://www.testo.com.tr info@testo.com.tr

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

Cihazın Sahibi Customer	Escon Enerji Sistemleri ve Cihazları San.Tic.Ltd.Şti. Orhangazi Cad. Tınaztepe Sok. No:26 Maltepe/İSTANBUL		
Kayıt Numarası Registration No	21876385-4		
Makine/Cihaz Instrument/Device	Testo 435 Pitot Tüp		
İmalatçı Manufacturer	Testo		
Tip Type			
Model ve Seri Numarası Model and Serial Number	Cihaz Prob	0560 4354 --	02612449/307 --
Kalibrasyon Tarihi Date of Calibration	05.01.2015		
Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı Number of total pages of the Certificate	3		

Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslar Arası Laboratuvarlar Akreditasyonu Birliği (ILAC) ile Karşılıklı Tanınma Antlaşması'nı imzalamıştır.
The Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European Cooperation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the international system of units (SI).

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

This measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificates.



Tarih
Date
09.01.2015

Kalibrasyonu yapan
Calibrated by
Tolga ERENOĞLU

Laboratuvar Müdürü
Head of Calibration Laboratory
Tolga ERENOĞLU

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

AB-0028-K
HK0757
01-15

Sayfa 2/Toplam 3
Page 2 of 3

Makine/Cihaz Testo 435
Instrument /Device

Açıklamalar Cihaz çözünürlüğü 0,1 m/sn dir.
Explanations

Cihazın laboratuvara kabul tarihi 02.01.2015
Date of receipt of Device

Kalibrasyon Metodu Kalibrasyon, TL 5/04 "Hız Kalibrasyonu Talimatı"na göre referans fark basınç ölçer ve referans pitot tüp kullanılarak, rüzgar tüneline referanstan okunan hız ile test cihazından okunan hızın karşılaştırılması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizliği EA 4/02 M:2013 uluslararası standardına göre yapılmıştır.
Calibration Method

Ölçüm Şartları Ölçüm, düşük türbülans seviyesine sahip, serbest çıkışlı akış profilinin ortasında gerçekleştirilmiştir.
Measurement Conditions

Laboratuvar Şartları 23±3°C ve %45±20 Bağıl nem
Laboratory Conditions

Ölçüm Sonuçları ve Ölçüm Belirsizliği Yalnızca bilgileri verilen cihaz için geçerlidir.
Measurement Results and Measurement Uncertainty

Referans Değer m/s	Okuma Değeri m/s	Hata m/s	Belirsizlik (±)m/s	Belirsizlik (±)%
2,5	2,5	0,0	0,06	2,46
5,0	4,9	-0,1	0,07	1,41
10,2	9,9	-0,3	0,09	0,92

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin, k=2 olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k = 2 which, for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
*This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.*

AB-0028-K

HK0757

01-15

Sayfa 3/Toplam 3
Page 3 of 3

Kalibrasyon Sırasında Kullanılan Referans Standartları

Reference Standards That Used in the Calibration

Referans Standardı	Sertifika No / Tarih	İzlenebilirlik	Envanter No	Model No	Seri No
Testo 512 + L Tipi Pitot Tüp	UME G2AH-0019 / 07-14	AB-0034-K	1100 0048	0563 4001+0635 9540	AC033051/3 01

Kalibrasyon Etiketi

Calibration Sticker

Cihaz üzerine yapıştırılmıştır.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.