

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN
TEORİK VE DENEYSEL BİR YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ**

FATİH MEMİŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HASAN ALPAY HEPERKAN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN
TEORİK VE DENEYSEL BİR YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ

Fatih MEMİŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 02.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Prof. Dr. Zeynep Dürriye BİLGE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oktay ÖZCAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Bu çalışma, Arçelik A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince engin tecrübelerinden ve ilminden faydalandığım, sabrı ve katkılarıyla beni her daim motive eden, yol gösteren, kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan Alpay Heperkan'a çok teşekkür ederim.

Anlayış ve desteklerinden dolayı başta Sayın Fatih Özkadı, Sayın Tuğrul Kodaz, Sayın Ömer Ünal ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Bana olan inanç, ilgi ve desteğini esirgemeyen, zor anlarımda motivasyonumu yükselten, varlığıyla hayatımı anlamlı kılan sevgili eşim Şeyda Memiş'e, her daim yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimle.

Ağustos, 2019

Fatih MEMİŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	5
2.1 Enerji Verimliliğinin İklim Değişikliğiyle Mücadeledeki Rolü	7
2.2 Enerji Verimliliğiyle Gelen Enerji Dışı Faydalar	8
2.3 Türkiye’de Enerji Verimliliği Mevzuatı	10
BÖLÜM 3	
SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	12
3.1 Sanayide Enerji Verimliliği Çalışmaları.....	14
3.2 Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği.....	15
3.2.1 Basınçlı Hava Kaçakları.....	16
3.2.2 Isı Geri Kazanımı.....	17
3.2.3 Kompresör Set Basıncının Düşürülmesi.....	18
3.2.4 Kompresör Havaasının Dış Ortamdan Alınması.....	19

3.2.5 Gereksiz Basıncı Hava Kullanımını Azaltmak.....	19
3.3 Yakma Tesisleri ve Yanma	21
3.3.1 Hava-Yakıt Oranının Optimize Edilmesi	22
3.3.2 Baca Gazları ile Atılan Isının Geri Kazanımı.....	23
3.3.3 Kazanların Uygun Yükte Çalıştırılması.....	25
3.4 Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği	26
3.5 Aydınlatmada Enerji Verimliliği	31
3.6 Mekanik Tesisatlarda Yalıtım	33

BÖLÜM 4

ENDÜSTRİYEL BİR İŞLETMEDE ENERJİ ETÜDÜ	37
4.1 Enerji Etüdünün Kapsamı.....	38
4.2 Genel Enerji Tüketim Analizleri.....	38
4.2.1 Özgül Enerji Tüketimi	39
4.2.2 Regresyon Analizi.....	40
4.2.3 CUSUM Analizi	43
4.2.4 Önemli Enerji Kullanan Prosesler (ÖEK'ler)	46
4.3 Boyahane Fırınları	48
4.3.1 Sistem Tarifi	48
4.3.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	48
4.3.3 Hesaplamalar	49
4.4 Kızgın Su Kazanları	53
4.4.1 Sistem Tarifi	53
4.4.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	54
4.5 Pompalar	55
4.5.1 Sistem Tarifi	55
4.5.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	55
4.5.3 Hesaplamalar	56
4.6 Basıncı Hava Sistemi	59
4.6.1 Sistem Tarifi	59
4.6.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	61
4.6.2.1 Kompresör Basınç Set Değerlerinin Düşürülmesi	61
4.6.2.2 Kompresör Emiş Havaasının Dış Ortamdan Alınması.....	63
4.7 Elektrik Motorları	65
4.7.1 Sistem Tarifi	65
4.7.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	66
4.7.3 Hesaplamalar	67
4.8 Aydınlatma	70
4.8.1 Sistem Tarifi	70
4.8.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri.....	71
4.8.3 Hesaplamalar	72

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77

EK-A

ELEKTRİK MOTORLARI ENVANTER ÇİZELGESİ	80
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGE LİSTESİ

P_n	Motorun anma gücü
η_{eski}	Motorun mevcut verim değeri
η_{yeni}	Motorun yeni verim değeri
η	Verim değeri
l_m	Lümen
λ	Isı iletkenlik katsayısı
μ	Buhar difüzyon direnç katsayısı
C_p	Özgül ısı
T	Sıcaklık
Q	Isı akımı
m	Kütlesel debi
H	Basma yüksekliği
H	Zaman aralığının uzunluğu
g	Yerçekimi ivmesi
ρ	Yoğunluk
a	Yıllık çalışma saati
YF	Yük faktörü
BF	Birim fiyat
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
O_2	Oksijen

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AB-28	Avrupa Birliği 28 Ülke
BP	British Petroleum
CUSUM	Cumulative Sum (Birikimli Toplam)
GSYH	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
GWh	Gigawatt-saat
HDD	Heating Degree Day (Isıtma Gün Derecesi)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
Kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
kWh	Kilowatt-saat
LED	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	Megawatt
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
ÖEK	Önemli Enerji Kullanıcıları
PPM	Parts per Million (Milyonda Bir)
TCMB	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VSD	Variable Speed Drive (Değişken Hız Sürücüsü)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları 1
Şekil 1.2	Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri 2
Şekil 2.1	Ülkelerin birincil enerji yoğunlukları (2015) 6
Şekil 2.2	Atmosferdeki ortalama CO ₂ miktarının yıllar bazında değişimi..... 8
Şekil 3.1	Türkiye’de sektörler göre nihai enerji tüketim oranları (2017) 12
Şekil 3.2	Bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyeti içindeki enerji maliyetinin oranı 13
Şekil 3.3	Bir kompresörün 10 yıllık yaşam döngüsü maliyeti 15
Şekil 3.4	AB normlarına göre uygulanabilir tasarruf noktaları 17
Şekil 3.5	Kompresör enerji kayıpları..... 17
Şekil 3.6	Bir kazanda ekonomizer uygulamasının şematik gösterimi 24
Şekil 3.7	Kazan yüküne bağlı olarak kazan verimindeki değişimler 26
Şekil 4.1	İşletmenin son 3 yıla ait özgül enerji tüketimleri..... 39
Şekil 4.2	İşletmenin son 3 yıla ait üretim ve elektrik tüketimi analizi 40
Şekil 4.3	İşletmenin son 3 yıla ait üretim ve doğalgaz tüketimi analizi..... 42
Şekil 4.4	Doğalgaz tüketimi için iki değişkenli regresyon sonucu 42
Şekil 4.5	İşletmenin 2018 yılı elektrik tüketim verilerine göre CUSUM grafiği 44
Şekil 4.6	İşletmenin 2018 yılı doğalgaz tüketim verilerine göre CUSUM grafiği 46
Şekil 4.7	İşletmenin elektrik tüketim dağılımı 47
Şekil 4.8	İşletmenin doğalgaz tüketim dağılımı 47
Şekil 4.9	Hesaplama yazılımında son kat 2. hat fırınının atık ısı geri kazanım hesapları..... 50
Şekil 4.10	Son kat 2. hat fırınının yanma verimi optimizasyon hesabı 51
Şekil 4.11	Boyahane fırınlarının atık ısı geri kazanım hesapları 52
Şekil 4.12	Boyahane fırınları yanma verimi optimizasyon hesapları..... 52
Şekil 4.13	İşletmede mevcut su kazanları 54
Şekil 4.14	Chiller su pompaları 55
Şekil 4.15	5 No’lu pompanın ihtiyaca uygun başka bir pompa ile değişim hesabı 57
Şekil 4.16	Basınçlı hava sistemi yerleşim şeması..... 60
Şekil 4.17	1 No’lu kompresörün set basıncının azaltılması ile elde edilen enerji kazancı..... 63
Şekil 4.18	Arçelik işletmesinin bulunduğu bölgede aylık bazda sıcaklık verileri 64

Şekil 4.19	6 No'lu kompresörün emiş havasının dış ortamdan alınmasıyla sağlanan enerji kazancı	65
Şekil 4.20	75 kW'lık bir IE1 motorun IE3 motor ile değiştirilmesi ile elde edilen kazanç	68
Şekil 4.21	Enerji verimli motor değişimleri ile elde edilecek tasarruf miktarı	69
Şekil 4.22	Floresan armatürlerin LED armatürler ile değiştirilmesi ile elde edilen kazanç.....	72
Şekil A.1	Elektrik motor envanteri	80

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Sanayi alt sektörleri bazında enerji tasarrufu potansiyeli..... 14
Çizelge 3.2	Basıncılı hava sistemlerinde hava kaçak miktarları (litre/dakika)..... 16
Çizelge 3.3	Basıncılı havanın uygunsuz kullanımları..... 20
Çizelge 3.4	Basıncılı hava enerjisi kullanımına alternatifler 21
Çizelge 3.5	Bazı yakıtlar için fazla hava oranları 23
Çizelge 3.6	Havanın ısıtılmasıyla sağlanabilecek % yakıt tasarrufu 25
Çizelge 3.7	IEC 60034-30-1 (50Hz) standardına göre 2 kutuplu ve 4 kutuplu elektrik motorlarının verim değerleri..... 27
Çizelge 3.8	Aydınlatma teknolojilerinin ömür ve verim açısından karşılaştırması.... 31
Çizelge 3.9	İşyerlerinde bazı alanlarda gerekli aydınlatma şiddeti değerleri 32
Çizelge 3.10	Akışkan sıcaklığına göre kullanılabilecek ısı yalıtım malzemeleri..... 34
Çizelge 3.11	Yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklıkları 35
Çizelge 4.1	İşletmenin son 3 yıla ait enerji tüketim bilgileri..... 39
Çizelge 4.2	Arçelik işletmesinin 2018 yılı elektrik tüketim verilerine göre CUSUM değerler tablosu 44
Çizelge 4.3	Arçelik işletmesinin 2018 yılı doğalgaz tüketim verilerine göre CUSUM değerler tablosu 45
Çizelge 4.4	Brülörlerin teknik özellikleri 48
Çizelge 4.5	Boyahane fırınlarının ölçüm verileri..... 49
Çizelge 4.6	Kızgın su kazanlarının ölçüm verileri 54
Çizelge 4.7	Pompaların ölçüm verileri 56
Çizelge 4.8	İhtiyaca uygun pompa değişimleri ile elde edilecek tasarruf miktarı 58
Çizelge 4.9	İşletmedeki kompresörlerin bilgileri 60
Çizelge 4.10	1 No'lu kompresör bilgileri..... 62
Çizelge 4.11	IE1 ve IE2 verimlilik sınıfına sahip motorların ölçüm değerleri..... 66
Çizelge 4.12	Mevcut aydınlatma armatürlerinin bilgileri 70
Çizelge 4.13	Mevcut aydınlatma armatürlerinin elektriksel ölçüm bilgileri..... 72
Çizelge 4.14	Mevcut armatürlerin LED armatürlerle değiştirilmesi ile elde edilen kazanç 73
Çizelge 5.1	Genel etüt bulguları 75

**ENDÜSTRİYEL BİR TESİSİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN
TEORİK VE DENEYSEL BİR YAKLAŞIM GELİŞTİRİLMESİ**

Fatih MEMİŞ

MakineMühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

İklim değişikliği, gün geçtikçe artan enerji talebi ve enerji maliyetlerindeki artış, enerji kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde enerji verimliliği; enerji arz güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik gibi bir dizi politika hedefinin gerçekleştirilmesinde önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı üyesi ülkelerde 2000 yılından bu yana yapılan verimlilik iyileştirmeleri, 2017 yılında, %12 ek enerji kullanımını, %12 daha fazla sera gazı emisyonunu ve 30 milyar \$ tutarında petrol ithalatını engellemiştir. Küresel toplam nihai enerji kullanımının yaklaşık %31,7'sinden sorumlu olan sanayi sektörü de enerji verimliliği potansiyeli açısından en yüksek potansiyele sahip sektörlerin başında gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği projelerinin fizibilite hesaplarında kullanılmak üzere 45 farklı enerji verimliliği projesi için visual basic programlama dili kullanılarak bir hesaplama yazılımı oluşturulmuştur. Bu yazılım ile endüstriyel işletmelerde sıklıkla uygulanan enerji verimliliği projelerinin kazanç hesaplarının, teorisine uygun, kolay ve hızlı bir şekilde yapılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda her proje için, projenin teknik detaylarını ve teorisini anlatan bilgiler ilgili proje modüllerine yüklenmiştir. Bu sayede işe yeni başlayan veya enerji yöneticisi olarak

atanan personelin teknik bilgi seviyesini artırmak üzere kaynak doküman olarak da kullanılabilir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, bir Arçelik işletmesinde enerji etütü gerçekleştirilmiş ve etüt sonucu elde edilen ölçüm değerleri hesaplama yazılımında kullanılarak yıllık enerji kazancı, yıllık parasal kazanç, geri ödeme süresi gibi değerler hesaplanmıştır. Ayrıca işletmenin son üç yıla ait üretim ve enerji tüketim verileri üzerinden enerji performansı analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, enerji verimliliği, sanayide enerji verimliliği, enerji etüdü

ABSTRACT

DEVELOPING A THEORETICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF AN INDUSTRIAL PLANT

Fatih MEMİŞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof.Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

Climate change, increasing energy demand and increasing energy costs necessitate efficient use of energy resources. Today, energy efficiency is considered as an important energy source for the realization of a number of policy objectives like climate change, energy supply security and sustainability. Efficiency improvements made in the International Energy Agency member countries since 2000 have prevented 12% additional energy use, 12% more greenhouse gas emissions and more oil imports with an amount of 30 billion \$ in 2017. The industrial sector, which is responsible for approximately 31.7% of the total global energy use, has the highest energy efficiency potential.

In this study, a calculation software has been created by using the visual basic programming language to be used in the feasibility calculations for 45 different energy efficiency projects carried out in Arçelik plants. With this software, it is aimed to make the energy saving calculations of frequently applied energy efficiency projects in the industrial plants, easily, quickly and in accordance with its theory. At the same time, for each project, the information describing the technical details and theory of the project has been uploaded to the relevant project pages. In this way, it can also be used as a source document to increase the technical knowledge level of the personnel who are newly recruited or appointed as energy managers.

In the second part of the study, an energy audit was carried out in an Arçelik plant and the annual energy saving, annual monetary saving and payback period values were calculated by using the calculation software. In addition, the energy performance of the industrial plant has been analyzed over the last three years' production and energy consumption data.

Keywords: Energy, energy efficiency, energy efficiency in industry, energy audit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

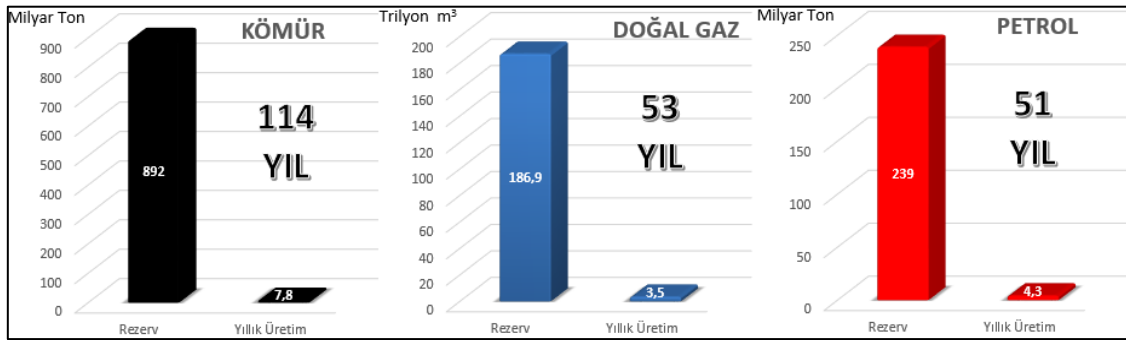
Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişiminin en temel ve sürükleyici gereksinimlerinden biri olup günümüzde uygarlığımızın devamı için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Sürdürülebilir sanayileşme ve kalkınma ucuz, temiz, sürekli ve güvenli enerji kaynaklarıyla mümkün olabilmektedir.

Dünya birincil enerji tüketimi, nüfus, kentsel gelişim ve sanayileşmeye bağlı olarak giderek artmaktadır. Nüfus artışı ve ekonomik büyüme, enerji tüketiminin artmasına neden olan temel etkenlerin başında gelmektedir. Özellikle OECD dışı ülkelerin oluşturacağı bu etki Şekil 1.1’de verilen nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonlarında görülmektedir:



Şekil 1.1 Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları [1]

Dünya enerji tüketimi incelendiğinde, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlara yüksek oranda bir bağımlılık olduğu görülmektedir. Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde de fosil yakıtların payı Dünya ile paralel seviyelerdedir. Fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonları ise, tüm dünyada iklimlerin değişmesine, sıcaklığın yükselmesine, yağış döngülerinin değişmesine, buzulların erimesine ve tüm dünyada ortalama deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmekte, bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edilmektedir.



Şekil 1.2 Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri [1]

Küreselleşen dünyada sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, gün geçtikçe artan enerji talebi ve enerji maliyetlerindeki artış, zorlaşan rekabet koşulları, enerji konusunda yaşananlar; tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de var olan enerji kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmakta, bu nedenle de enerji verimliliği, enerji tasarrufu ve enerji yönetimi gibi konuları ön plana çıkarmaktadır.

Ünlü (2009) çalışmasında, küreselleşen ekonomi ve endüstriyel işletmeler için artan rekabet şartlarının hüküm sürdüğü günümüzde enerjinin ve enerji verimliliğinin önemine yer vermiş, sanayi tesislerinde devreye aldığı enerji verimliliği projelerinden örnekler vermiştir. [2]

Kim ve Zhang (2014), enerji üretim tesislerinde enerji verimliliğinin ve sera gazı emisyonlarını inceleyen ampirik bir çalışma yürütmüşlerdir. Sonuç olarak enerji santralinin bir çoğunun verimsiz bir şekilde çalıştırıldıklarının ve enerji sektöründe ciddi anlamda enerji verimliliği potansiyeli olduğunu tespit etmişlerdir. [3]

Söğüt ve Oktay (2006), bir çimento fabrikasında ön enerji etütü kapsamında işletmenin enerji tüketim ve üretim verilerini analiz etmişlerdir. Üretim ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi belirlemek için özgül enerji tüketimi, regresyon analizi ve CUSUM grafiklerinden yararlanmışlardır. Sonuç olarak üretilen çimento türlerine göre enerji tüketiminde farklılıklar olduğunu tespit etmişler ve işletmenin enerji tüketim hedefine ulaşması için bazı enerji verimliliği proje önerilerinde bulunmuşlardır. [4]

Acar (2012), yüksek lisans tezinde, Türk Traktör fabrikasında enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemleri incelemiş ve enerji verimliliği potansiyeli olan prosesler için yenilenebilir enerji uygulamaları dahil proje önerilerinde bulunmuştur. Sonuç olarak fabrikada uygulanacak enerji projelerinin çoğunun geri ödeme süresi 1 yılın altındadır. [5]

1.2 Tezin Amacı

Arçelik üretim süreçlerinde hayata geçirdiği enerji verimliliği proje ve uygulamalarıyla hem bu süreçlerden kaynaklanan çevresel etkilerini asgari seviyeye düşürmekte, hem de enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar elde etmektedir. Sadece 2018 yılında, Arçelik'in yurtiçi ve yurtdışı 18 fabrikasında, enerji verimliliği faaliyetleri kapsamında 212 enerji verimliliği projesi gerçekleştirilmiştir. Tamamlanan projeler ile yıllık 109.212 GJ enerji tasarrufu ve 10.321 tCO₂e emisyon azaltımı sağlanmıştır. Son 5 yılda gerçekleştirilen enerji verimliliği projelerinin sayısı ise 1000'in üzerindedir.

Bu tez kapsamında ilk aşamada, Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen yüzlerce enerji verimliliği projesinin fizibilite hesaplarında kullanılmak üzere visual basic programlama dili kullanılarak bir hesaplama yazılımı oluşturulması amaçlanmıştır. Bu program, Arçelik işletmelerinde sıkça uygulanan 45 farklı enerji verimliliği projesinin kazanç hesaplarının, teorisine uygun, kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda bu çalışma ile, Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği projelerinin enerji ve finansal kazançlarının hesabında standardizasyon sağlanması hedeflenmiştir. Her bir proje için ayrı ayrı hazırlanan hesap modüllerinin yanında konu ile ilgili teorik bilgilere de yer verilerek, programın işe yeni başlayan veya enerji yöneticisi olarak atanan personelin teknik bilgi seviyesini artırmak üzere kaynak doküman olarak da kullanılması amaçlanmaktadır.

Tezin ikinci aşamasında ise Arçelik'in bir işletmesinde enerji etüdü yapılarak, kazanlar, fırınlar, pompalar, elektrik motorları, basınçlı hava sistemi gibi enerji yoğun proses ve ekipmanlardan ölçümler alınması ve bu ölçümler sonucu elde edilen verilerin hesaplama yazılımında kullanılarak hem programın denenmesi hem de endüstriyel işletmenin enerji etüdünün yapılması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Sanayi, Türkiye'nin nihai enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan sektördür. Bununla birlikte özellikle enerji yoğun sektörlerde %50'lilere varan tasarruf potansiyeli mevcuttur. Dolayısı ile sanayi kuruluşlarının hem üretim maliyetlerini azaltmak hem çevreye olan etkilerini minimize etmeleri için, üretimde enerji verimliliğini sürekli ön planda tutmaları gerekmektedir.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, enerji izleme sistemleri ve özellikle enerji yoğun alanlarda gerçekleştirilen enerji etütleri üretimde enerji verimliliği çalışmalarının daha sistematik ve etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu uygulamaların, bu çalışma kapsamında hazırlanan ve çalışanların farkındalığını artıran, onlara zaman kazandıran ve çalışmalarında standardizasyonu sağlayan dijital araçlar ile desteklenmesi ile sanayide enerji verimliliği çalışmalarının etkinliğinin artacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

ENERJİ VERİMLİLİĞİ

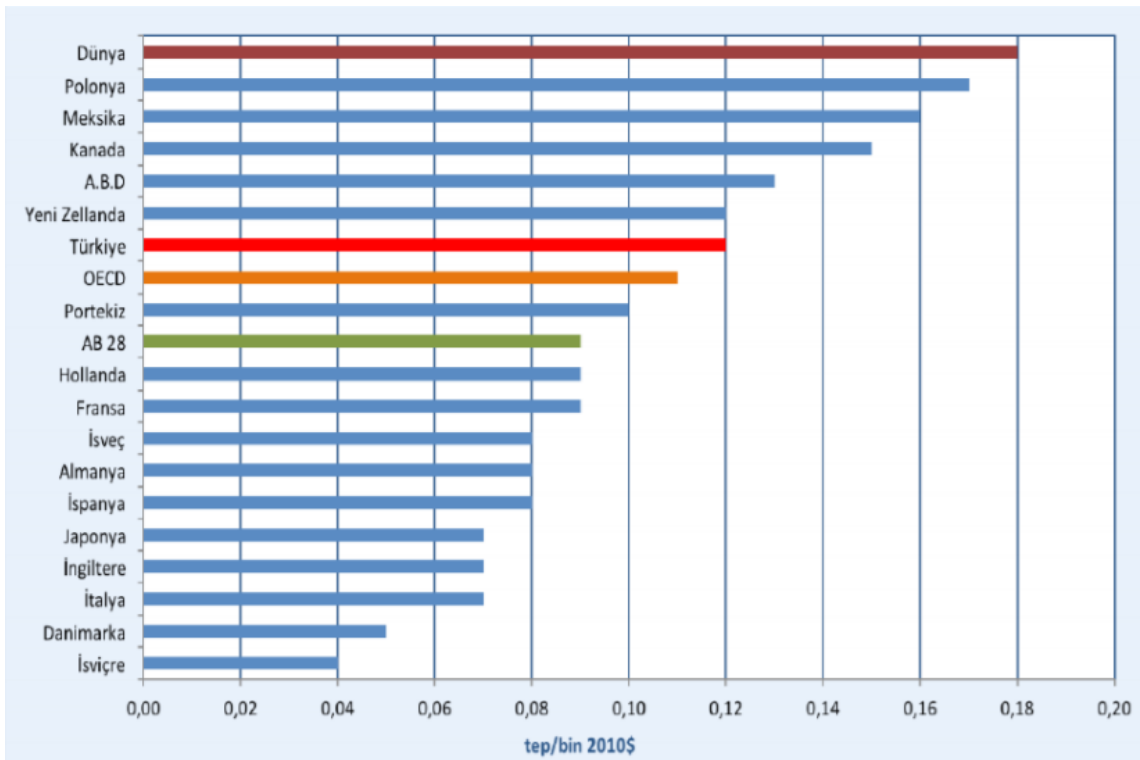
Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesi, yeni teknolojilerin kullanımı ile üretimi, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır. [6]

Bir başka deyişle enerji verimliliği; ısı, gaz, buhar, basınçlı hava, elektrik gibi çok değişik formlarda olabilen enerji kayıpları ile her çeşit atığın değerlendirilmesi veya geri kazanılması veya yeni teknoloji kullanma yoluyla üretimi düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır. [7].

Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar hem tüketim alanındaki tasarrufları hem de arz tarafına yönelik önleyici yaklaşımları kapsamaktadır. Bu çerçevede, bir yandan en az kaynak kullanımıyla en çok enerji üretiminin gerçekleşmesi, diğer yandan aynı miktar enerji kaynağı kullanılarak daha çok üretimin sağlanmasına yönelik çalışmalar önem arz etmektedir.

Günümüzde enerji verimliliği; enerji arz güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik gibi bir dizi politika hedefinin gerçekleştirilmesinde önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Yeni bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen enerji verimliliğinin birçok önemli ekonomik ve çevresel faydalar sağladığı her geçen gün daha da belirgin hale gelmektedir. Bu kapsamda Türkiye’de de enerji verimliliğine verilen önem artmış, enerji verimliliğine yönelik mevzuatlar hazırlanmış, hedefler belirlenmiş ve bu hedefleri sağlamaya yönelik eylem planları oluşturulmuştur.

Enerji verimliliğinin önemli göstergelerinden birisi olan enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden bir göstergedir. Bir ülkenin enerji yoğunluğunun düşük olması, bir birim gelir hasıla elde etmek için harcanan enerjinin de düşük olduğunu, bu da enerjinin verimli kullanıldığını işaret etmektedir. 2016 yılında Türkiye'nin birincil enerji yoğunluğu, 2000 yılına kıyasla %19,6 oranında azalarak 0,12 TEP/bin 2010\$ olarak gerçekleşmiştir. Bu dönem için yıllık bazda azalma oranı %1,36 olarak hesaplanmıştır. OECD ve AB-28 ülkelerinin ortalaması ise sırasıyla 0,11 ve 0,09 TEP/bin 2010\$'dır. Bu durumda Türkiye'nin birincil enerji yoğunluğunun OECD ve AB ülkelerinin ortalamasına göre yüksek kalmaktadır. [8]



Şekil 2.1 Ülkelerin birincil enerji yoğunlukları (2015) [8]

Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ile ilgili henüz kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Ancak, eğitim, etüt ve bilinçlendirme çalışmaları ile bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olmak üzere, önemli düzeyde enerji tasarruf potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Dünya Bankası'nın 2015 yılında gerçekleştirdiği bir analize göre de, 2009 yılına göre imalat sanayinde 4,6 MTEP, ulaştırma sektöründe 4,8 MTEP, binalar sektöründe 7,1 MTEP, toplamda ise 16,5 MTEP'lik bir verimlilik potansiyeli olduğu hesaplanmıştır. Söz konusu potansiyel, imalat

sanayinde 2 milyar avro, ulaştırma sektöründe 5,4 milyar avro, binalar sektöründe 5,8 milyar avro, toplamda ise 13,2 milyar avro tutarında bir tasarruf sunabilir.[9]

Türkiye'nin birincil enerji arzındaki ithal enerji kaynakları oranı %75'ler mertebesindedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ile Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın (TCMB) verilerinden derlenen bilgilere göre, 2013-2017 dönemini kapsayan 5 yıllık dönemde Türkiye'nin cari açığı 220 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Cari açığın en büyük kalemini ise enerji ithalatı oluşturmuştur. Petrol fiyatlarındaki dalgalanma ve döviz kurundaki artışla yükseliş gösteren Türkiye'nin enerji ithalatı son 5 yılda 213 milyar doları bularak Türkiye'nin toplam cari açığında %97 oranında paya sahip olmuştur. [20,45]

Türkiye'nin gelişmişliğin göstergesi olan enerji tüketimi yüksek, enerji yoğunluğu düşük ülkeler arasına girebilmesi, hızla artan enerji talebini ve cari açığı azaltabilmesi, enerji arz güvenliğini sağlayabilmesi için enerji verimliliğini bir yaşam biçimi haline getirmesi, başta sanayi olmak üzere tüm alanlarda yüksek enerji verimliliği potansiyelini değerlendirmesi gerekmektedir.

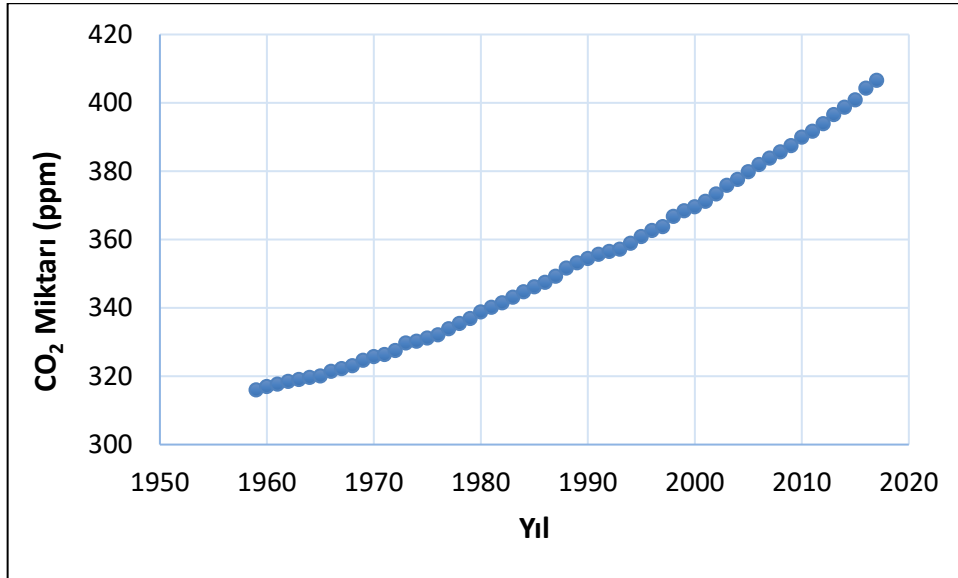
2.1 Enerji Verimliliğinin İklim Değişikliğiyle Mücadeledeki Rolü

BP tarafından yayınlanan 2018 Dünya enerji istatistiklerine göre, Dünya'da birincil enerji tüketimi, 2017 yılında bir önceki seneye göre %2,2 artış ile 13.511 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Bu büyümenin büyük bir kısmı Hindistan, Pakistan, Çin gibi büyüyen ve gelişen ekonomilere sahip ülkeler tarafından gerçekleştirilmiştir. Çin, dünya enerjisinin %23'ünü tüketerek birinci sırada yer almaktadır. Çin'i %16,5'luk oranla ABD takip etmektedir. Türkiye ise 2017 yılında, birincil enerji tüketimini 2016 yılına göre %9,5 oranında artırmış olup, dünya enerjisinin %1,2'sini tüketmiştir. [10] IEA tarafından yapılan projeksiyonlara göre enerji talebinin 2040 yılına kadar %25'ten fazla artması ve artan enerji talebini karşılamak için yıllık 2 trilyon \$'dan fazla yatırım yapılması gerekmektedir. [11]

Enerji tüketimindeki artışın karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisine bakıldığında, küresel karbondioksit emisyonlarının 2014-2016 dönemindeki yatay seyrin ardından, 2017 yılında %1,6 oranında arttığı görülmektedir. Uluslararası enerji ajansı (IEA), küresel

karbondioksit emisyonlarının 2018 yılında da %3,7 düzeyinde gerçekleşecek küresel ekonomik büyüme ve artan enerji tüketimine bağlı olarak yükseleceğini öngörmektedir.

Günümüzde, başlıca sera gazlarından olan karbondioksitin atmosferdeki miktarının hızla artması yeryüzünün ortalama sıcaklığını geçtiğimiz yüzyıl içinde 0,8 °C artırmıştır. 2015 yılı itibariyle atmosferdeki ortalama CO₂ miktarı ise ilk defa 400 ppm'i aşmıştır.



Şekil 2.2 Atmosferdeki ortalama CO₂ miktarının yıllar bazında değişimi

Dünya nüfusundaki artış ve artan ekonomik aktiviteyle birlikte Dünya birincil enerji tüketiminin son 10 yılda ortalama %1,7 oranında artış göstermesi [10], kaynakların hızla tükenmesi, iklim değişikliği ve ülkelerin açısından enerji dışı bağımlı olması gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Kuşkusuz, üretim ve tüketim şeklini değiştirmeden, kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmadan gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılamayacağı ortadadır.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre, IEA üyesi ülkelerde 2000 yılından bu yana yapılan verimlilik iyileştirmeleri, 2017 yılında, %12 ek enerji kullanımını, %12 daha fazla sera gazı emisyonunu, %20 daha fazla fosil yakıt ithalatını ve 30 milyar \$ tutarında petrol ithalatını engellemiştir. [12]

2.2 Enerji Verimliliğiyle Gelen Enerji Dışı Faydalar

Maliyetlerin düşürülmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması, rekabetçiliğin artırılması, ülkelerin cari açığının düşürülmesi, enerji arz güvenliğinin sağlanması gibi çıktılar enerji

verimliliği projelerinden beklenen birincil faydalardır. Bu birincil faydalar dışında, enerji verimliliği projelerinin, bakım maliyetlerinin düşürülmesi, ekipman ömrünün uzatılması, atık azaltımı, çalışan memnuniyetinin artırılması gibi doğrudan enerji tüketimi ile ilişkili olmayan ek faydaları da bulunmaktadır. Örneğin, 1000 saat ömürlü bir halojen ampul, 30.000 saat ömürlü bir LED aydınlatma ile değiştirildiğinde, enerji tasarrufunun yanısıra bakım, satın alma ve montaj maliyetlerinden de tasarruflar sağlanmaktadır. Diğer bir örnek olarak, yalıtımsız bir binaya mantolama yapıldığında binanın ısıtma ve soğutma yükü düşeceği için enerji tasarrufu yapılmakta, binanın enerji tüketimi azalmaktadır. Enerji kazancına ek olarak, özellikle kışın ısı değişikliklerinin genliği düşeceği için binanın kullanım ömrü uzamakta, varsa nemlenme ortadan kalkmakta ve nemden kaynaklı hastalıkların ve sağlık maliyetlerinin düşürülmesi sağlanmaktadır.

Enerji verimliliği projelerinin enerji dışı faydalarının değeri, projede odaklanılan enerji kazancına eşit veya daha yüksek olabilmektedir. Ancak, enerji dışı faydaların kazancını hesaplayabilmek için yaygın bir yöntem bulunmadığı veya bu kazançlar hakkında çok fazla farkındalık olmadığı için çoğunlukla fizibilite çalışmalarında dikkate alınmamaktadırlar. (13)

Enerji verimliliği projelerinin çok çeşitli biçimlerde ortaya çıkan birçok enerji dışı faydası bulunmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda öne çıkan başlıklar aşağıdaki gibidir:

- Sera gazı emisyonlarında azaltım,
- Bakım maliyetlerinde azalma,
- Ekipman ömürlerinde uzama,
- Atık miktarında düşüş,
- Birim zamandaki üretimde artış,
- Ürün kalitesinde artış (Hata oranlarında azalma),
- Çalışan memnuniyetinde artış (Daha yüksek ortam konforu),
- Azalan iş kazaları ve yükselen iş güvenliği,
- Sağlık giderlerinde azalma,
- Gelişmiş firma imajı

Enerji verimliliğiyle ilgili projelerin değerlendirmelerinde enerji dışı faydaların da dikkate alınarak analizlerin yapılması, makul enerji verimliliği projelerinin sayısını artıracak ve bu projelerin hayata geğmesini kolaylaştıracaktır.

2.3 Türkiye’de Enerji Verimliliği Mevzuatı

Türkiye’de son on iki yılda enerji verimliliğine yönelik güçlü bir mevzuat yapısı oluşturulmuş ve bu altyapı, çeşitli politika, strateji belgeleri ve eylem planları ile desteklenmiştir. Bu bağlamda 2 Mayıs 2007’de yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu yeni bir dönüşüm sürecinin başlangıcı niteliğindedir. Enerji Verimliliği Kanunu’nun temel amacı enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması olarak belirlenmiştir. [14]

Enerji Verimliliği Kanunu, 2008 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği ve 2011 yılında yayınlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik gibi ikincil düzenlemeler ile desteklenmiştir.

Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik; üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesi, tesislerde enerji yöneticisi atanması veya enerji yönetim birimlerinin kurulması, bunların görev ve sorumluluklarının belirlenmesi, enerji verimliliği ile ilgili eğitim ve sertifikalandırma faaliyetleri, verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesi, gönüllü anlaşma uygulamaları, talep tarafı yönetimi, elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde, dağıtımında ve tüketiminde enerji verimliliğinin artırılması ve idari yaptırımlara yönelik uygulamalar hakkında düzenlemeler yapmaktadır. [15]

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği ise, mevcut ve yeni yapılacak binalarda; mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi konularda bina projelerinin hazırlanması, enerji kimlik belgesinin düzenlenmesi, enerji ihtiyacının kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması, ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulması ve korunması gerekli kùltür varlığı olarak tescil edilen

binalarda enerji verimliliğini arttırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin iş ve işlemler hakkında düzenlemeler içermektedir. [16]

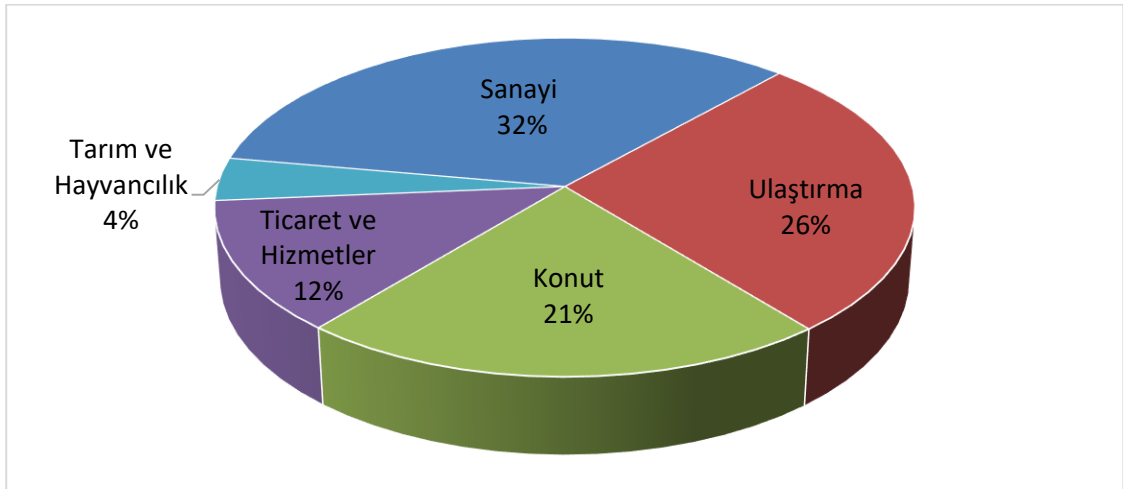
25 Şubat 2012 tarihinde yürürlüğe konulan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile sonuç odaklı hedeflerle desteklenmiş bir politika seti belirlenmesi ve hedeflere ulaşmak için yapılması gereken eylemler planlanmıştır. Bu belge ile 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (birincil enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir. [17]

Temmuz 2013 tarihinde yayımlanan ve 2014-2018 dönemini kapsayan Onuncu Kalkınma Planı'nda da enerji verimliliği ile ilgili programlar ele alınmıştır.

02/01/2018 tarihli ve 30289 sayılı Resmî Gazete'de yayımlayarak yürürlüğe giren Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Avrupa Parlamentosunun ve Konseyinin 25 Ekim 2012'de enerji verimliliği üzerine yayımladığı 2012/27/AB sayılı Direktifine uyum sağlanması ve Türkiye'nin enerji verimliliği alanında sahip olduğu vizyonu ortaya koyması açısından önemli bir belgedir. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda; enerji arz güvenliği, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, enerji kullanımından kaynaklı emisyon değerlerinin düşürülmesi, enerjide dışa olan bağımlılığın azaltılması ve makro ekonomiye olan katkısı önceliklendirilmiştir. Eylem Planı, bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve bütün sektörleri ilgilendiren yatay konulara yönelik toplam 55 eylemi kapsamaktadır. Bu eylemlerin hayata geçirilmesi ile 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP enerji tasarrufu sağlanması öngörülmekte olup bu tasarrufun parasal karşılığı ise 8,4 milyar dolardır. [18]

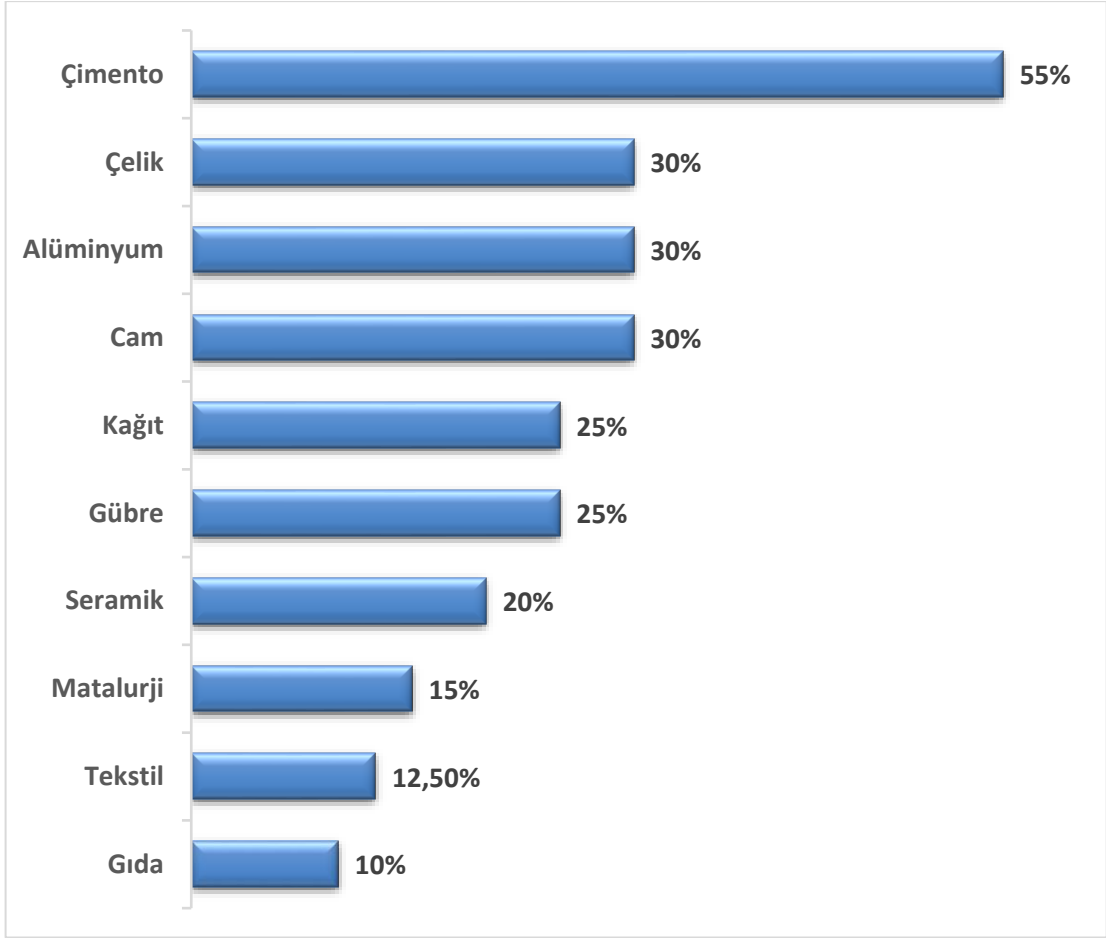
SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Ülkeler arasında farklılıklar olmakla birlikte sanayi, nihai enerji tüketimi içinde en yüksek paya sahip olan sektörlerden biridir. Sanayi, küresel toplam nihai enerji kullanımının yaklaşık %31,7'sinden sorumludur. [19] Türkiye’de de nihai enerji tüketiminde en yüksek pay %32’lik oran ile sanayiye aittir. Sanayi’yi %26 ile ulaştırma, %21 ile binalar takip etmektedir. Toplam net elektrik tüketiminin de %47’si sanayide tüketilmektedir. [20]



Şekil 3.1 Türkiye’de sektörlere göre nihai enerji tüketim oranları (2017)

Enerji maliyeti, bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyetinin %55’ine kadar çıkabilmektedir. Üretilen ürün, kullanılan proses ve hammaddeye göre bu oran farklılaşmaktadır. Özellikle enerji yoğun sektörlerde yapılacak çok küçük bir enerji verimliliği projesi bile doğrudan ve dolaylı olarak çok büyük kazançlar sağlanabilmekte ve kendini çok kısa bir sürede geri ödeyebilmektedir. Aşağıda bazı sanayi kollarında toplam üretim içinde enerji maliyetleri oranı belirtilmiştir.



Şekil 3.2 Bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyeti içindeki enerji maliyetinin oranı [21]

IEA Verimli Dünya Senaryosuna göre, sanayi sektörü 2040 yılına kadar enerji yoğunluğunu yarıya düşürerek birim enerji kullanımı başına ürettiği katma değeri 2 katına çıkarabilir. [11] Türkiye’de de endüstriyel tesislerde yapılan enerji etütleri ve diğer çalışmalar ile sanayide ortalama enerji tasarrufu potansiyelinin en az %20 olduğu belirtilmektedir. Bu potansiyelin yaklaşık %50’si ise önemli bir yatırım gerektirmeyen veya geri ödeme süresi iki yıldan kısa olan projeleri içermektedir. [22]

Çizelge 3.1 Sanayi alt sektörleri bazında enerji tasarrufu potansiyeli [23]

Alt Sektör	Enerji Tasarrufu Potansiyeli (%)	
	Elektrik	Yakıt
Demir Çelik	21	19
Çimento	25	29
Cam	10	34
Kimya	18	64
Kâğıt	22	21
Şeker	26	46
Tekstil	57	30
Gıda	18	32

Görüldüğü üzere sanayi, Türkiye'nin nihai enerji tüketiminde en büyük paya sahip sektördür. Bununla birlikte özellikle enerji yoğun sektörlerde %50'lilere varan enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur. Dolayısı ile sanayi kuruluşlarının hem üretim maliyetlerini azaltmak hem çevreye olan etkilerini minimize etmek hem de günümüz rekabet koşullarında avantaj elde etmek için, üretimde enerji verimliliğini sürekli ön planda tutmaları gerekmektedir. Bir sonraki bölümde sanayi tesisleri için öne çıkan enerji tasarrufu yöntemleri anlatılmıştır.

3.1 Sanayide Enerji Verimliliği Çalışmaları

Sanayi sektöründe enerji tasarrufu için mevcut teknik seçenekler, alt sektörler ve proseslerin yapısına göre çeşitlilik göstermektedir. Bununla birlikte, sanayide enerji verimliliği çalışmaları temel olarak aşağıdaki alanlarda gerçekleştirilmektedir;

- Basıncı hava sistemleri,
- Yakma tesisleri, yakıtlar ve yanma,
- Elektrik motorları,
- Aydınlatma,

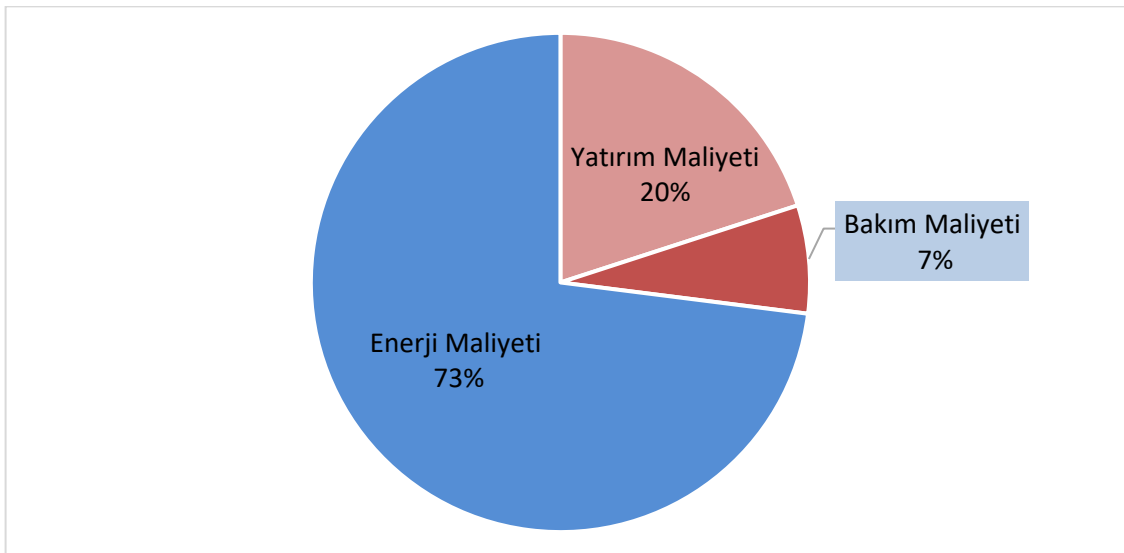
- Yalıtım,

3.2 Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği

Basınçlı hava, sağlamış olduğu birçok avantaj sebebiyle, sanayide yaygın olarak kullanılan, üretim yapılabilmesi için hayati öneme sahip olan enerji kaynaklarından biridir. Küçük bir atölyeden büyük bir kâğıt fabrikasına kadar neredeyse tüm sanayi kollarında basınçlı hava sistemi bulunmaktadır.

Basınçlı hava, hava kompresörleri tarafından üretilmekte olup; kompresörler, tesislerin makine parkı içinde genellikle en çok enerji tüketen ekipmanlarından biridir. Bu sebepten, basınçlı hava sistemlerindeki verimsizlikler yüksek enerji maliyetleri ve sahip oldukları tasarruf potansiyelleri sebebiyle çok önemlidirler. Basınçlı hava sisteminde yapılacak iyileştirmeler ile kompresörün elektrik tüketiminin %20-%50'si arasında tasarruf sağlanabilir. [24]

Bir kompresörün 10 yıllık yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde, enerji masrafının ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin toplamından fazla olduğu görülmektedir. Kompresörlerin enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için düzenli bakımlarının yapılması da kritik öneme sahiptir. Şekil 3.3 incelendiğinde bakım maliyetinin de %7 gibi önemli bir orana sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 Bir kompresörün 10 yıllık yaşam döngüsü maliyeti [25]

3.2.1 Basıncılı Hava Kaçakları

Hava kaçakları, basıncılı hava sistemlerindeki enerji kaybının en büyük kaynağıdır. Basıncılı hava kaçakların maliyeti, kayıp hava hacmini atmosferik basınçtan kompresörün çalışma basıncına sıkıştırmak için gerekli olan enerjinin maliyetine eşdeğerdir. Kaybedilen hava miktarı hat basıncı, delik çapı, sızıntı noktasındaki basıncılı hava sıcaklığı ve kompresör girişindeki hava sıcaklığına bağlıdır. [26]

Çizelge 3.2 Basıncılı hava sistemlerinde hava kaçak miktarları (litre/dakika) [27]

Delik Çapı (mm)	Çalışma Basıncı (bar)				
	2	4	6	8	10
0,5	8	12	15	20	25
1	30	45	65	85	105
1,5	55	90	125	160	200
2	100	170	240	310	380
3	225	375	520	675	825
4	410	700	980	1250	1500
5	640	1050	1500	1870	2300
6	900	1520	2120	2750	3350
8	1250	2700	3770	4880	5850
10	1950	4230	5900	7500	9200

Kaçaklar, genellikle endüstriyel basıncılı hava üretiminin % 25'ini temsil eder. Hava kaçaklarının tamamen ortadan kaldırılması pratikte pek mümkün değildir. İyi yönetilen ve düzenli basınç kaçak takibi yapılan bir işletmede % 10'luk bir kaçak oranı kabul edilebilir seviyededir. [26]

Basıncılı hava kaçaklar çoğunlukla emniyet valfleri, boru ve hortum bağlantı yerleri, kesici valfler, yol verme kaplinleri ve pnömatik aletlerde meydana gelmektedir. [28] Çalışmayan ekipmanlar da birer kaçak kaynağı olabilir. Dolayısı ile kullanımda olmayan ekipmanlar, hava dağıtım hatlarından bir vanayla izole edilmelidir.

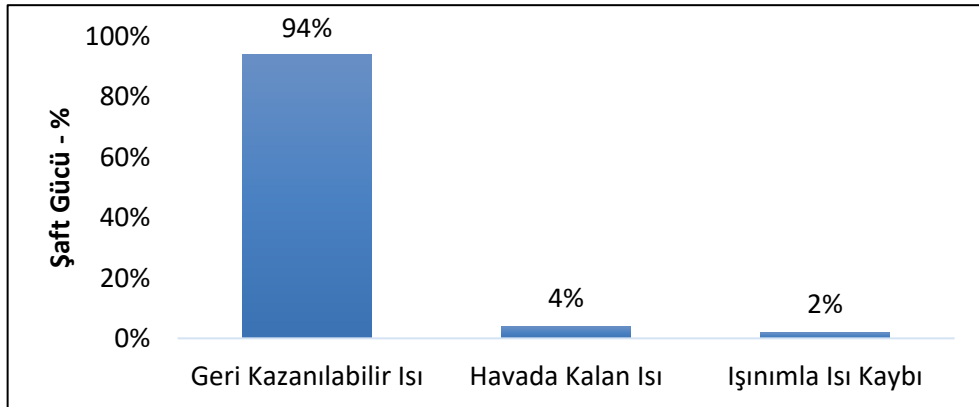


Şekil 3.4 AB normlarına göre uygulanabilir tasarruf noktaları [28]

Şekil 3.4’de de görüldüğü üzere basınçlı hava kaçaklarının periyodik kontroller ile azaltılması çok ciddi bir tasarrufu da beraberinde getirecektir. Günümüzde hava kaçaklarının tespiti için kullanılan en hassas yöntem ultrasonik ses detektörleri ile tarama yapmaktır. Hava kaçaklarının oluşturduğu ve insan kulağının duyamayacağı seviyedeki sesleri bir mikrofona vasıtası ile algılayarak, kulağın duyabileceği seviyeye yükselten bu cihazlar ile okunan ses şiddeti değerleri üzerinden yaklaşık da olsa kaçan havanın miktarını hesaplamak mümkündür.

3.2.2 Isı Geri Kazanımı

Çalışma prensibi gereği kompresörlerde çok büyük miktarlarda ısı oluşmaktadır. Atmosfer basıncını 1 bar olarak kabul ettiğimizde 7 bar_g basınçta 1 m³ hava üretmek için atmosferden 8 m³ havayı emip sıkıştırmak gerekmektedir. Sıkıştırma sürecinde oluşan ısı miktarı, kompresörün tükettiği elektriğin %94’ünü bulabilmektedir. [29]



Şekil 3.5 Kompresör enerji kayıpları

Kompresörlerde oluşan bu ısı geri kazanılarak, ortam ısıtması, endüstriyel proses ısıtması, su ısıtması, brülör besleme havası ısıtma ve kazan besleme suyu ön ısıtması gibi alanlarda kullanılabilir.

3.2.3 Kompresör Set Basıncının Düşürülmesi

Basıncılı hava sistemlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de kompresör set basıncının gereğinden daha yüksek bir değere ayarlanmasıdır. Gereğinden yüksek basınçta hava üretimi, kompresörün fazladan enerji harcamasına ve doğrudan işletme maliyetinin artmasına sebep olur. Basit bir hesaplama, 7 bar çalışma basıncına göre dizayn edilmiş bir kompresörün basınç değerindeki her 150 milibarlık artış, enerji sarfiyatının %1 oranında artması anlamına gelmektedir.

Çoğu zaman kompresör çıkış basınç seviyesi, kompresör çıkışı ile son kullanım noktaları arasında oluşan basınç kayıplarının telafisi için arttırılır. Sistemde suni bir ekipman gibi basınçlı hava kullanım gereksinimi yaratan bu kayıplar düşük sistem performansına ve gereksiz enerji tüketimlerine neden olur.

Sistemdeki her türlü daralma, tıkanıklık ve pürüzlülük karşı direnç oluşturarak basınç düşüşüne neden olacaktır. Dağıtım sisteminde en büyük basınç düşüşleri genellikle gereğinden küçük veya sızdıran hortumlar, borular, kesiciler, filtreler, regülatörler ve yağlayıcılar dâhil olmak üzere kullanım noktalarında bulunur.

Sistem basıncının yükseltilmesi, kaçaklar, açık üfleme ve regülatörsüz veya tam açık regülatörlü üretim uygulamaları gibi regüle edilmemiş kullanımları artırır. Yükseltilmiş basınçta eklenen talep “yapay talep” olarak isimlendirilir ve enerji tüketimini önemli derecede artırır. Kompresör çıkış basıncını artırmak veya ilâve kompresör kapasitesi eklemek yerine azaltılmış basınç düşüşü, stratejik basınçlı hava depolama ve talep kontrolleri/ara kontroller gibi alternatif çözümler aranmalıdır. Düzgün biçimde tasarlanmış bir sistemde basınç kaybı, kompresör çıkış basıncının %10’undan çok daha az olmalıdır. Ekipman için en düşük verimli çalışma basıncı belirlenmeli ve ekipman bu basınçta çalıştırılmalıdır. Önemli miktarlarda basınçlı hava kullanan uygulamalarda, daha düşük basınç seviyelerinde çalışacak ekipmanlar kullanılmalıdır. Eğer münferit bir uygulama daha yüksek bir basınç gerektiriyorsa, tüm sistemin çalışma basıncını artırmak

yerine bu uygulamayı değiştirmek, revize etmek veya mümkünse farklı bir hava hattı üzerinden burayı beslemek en iyi yol olabilir. [30]

3.2.4 Kompresör Havaşının Dış Ortamdan Alınması

Kompresörler ve hava kurutucuları bir ısı kaynağı gibi bulundukları ortama ısı yayarlar. Kompresörler genel olarak kapalı odalarda çalıştığından ve bulundukları ortamdan emiş yaptıklarından, çoğunlukla dış ortama göre daha sıcak havayı emip sıkıştırmaya çalışırlar. Bunun yerine bir hava kanalı ile emiş havaşının dış ortamdan alınması gerekmektedir. Teorik olarak sıcaklığın düşmesi ile yoğunluk artacağından, bu sayede daha az g ile daha fazla hava sıkıştırma imkânı doğmaktadır. Buna ek olarak kompresör odası tasarımı yapılırken, kompresör emiş yn kuzey olacak şekilde bir yerleşim çalışılmalıdır. Yaklaşık olarak emiş havaşının sıcaklığının her 5 °C düşüşünde, enerji tüketimi %1 azalmaktadır.

3.2.5 Gereksiz Basınçlı Hava Kullanımını Azaltmak

Basınçlı havaşının üretimi, şartlandırılması ve son kullanım noktasına taşınması, ilk yatırım maliyeti yüksek, çok büyük miktarlarda elektrik tüketen ve periyodik bakıma ihtiyaç duyan ekipmanlarla sağlanır. Ancak son kullanım noktasındaki kullanıcıların çoğu basınçlı havayı çok ucuz bir enerji kaynağı olarak görüp, hava tabancalarıyla temizlik ve hatta fabrikadaki işçilerin serinletilmesi gibi üretimle ilgili olmayan noktalarda dahi kullanabilmektedirler. Bu durum çalışanlara uygun şekilde anlatılmalı ve personelin konuyla ilgili farkındalığı artırılmalıdır. Çoğu tesiste hiçbir yatırım yapmadan, bu tür farkındalık artırıcı eğitimlerle basınçlı hava tüketiminde ciddi miktarda tasarruf sağlanabilir.

Buna ek olarak, üfleme, havalandırma, yastıklama, kabin soğutma gibi üretim süreçlerinde de pahalı bir enerji kaynağı olan basınçlı hava sıklıkla kullanılmaktadır. Herhangi bir üretim süreci için genellikle, görevin başarılmasını sağlayabilecek birden fazla alternatif yöntem vardır. Dolayısı ile basınçlı hava enerjisi, enerjinin işe dönüştürülmesinde daha verimli ve ucuz olan, alternatif teknolojiler ile yer değiştirmelidir. Bu alternatif yöntemler izelge 3.3’de listelenmiştir.

Çizelge 3.3 Basınçlı havanın uygunsuz kullanımları [30]

Uygunsuz Kullanım	Tanımı
Açık üfleme	Soğutma, yatak soğutma, kurutma, temizleme, basınçlı hava hatlarını boşaltma ve konveyörde sıkışmaları açma gibi işlemler.
Serpme	Serpme, basınçlı hava kullanılarak sıvının havalandırılması, karıştırılması, oksijenlendirilmesi ve süzülmesidir.
Havalandırma	Havalandırma (aspirasyon), başka bir gazın (örneğin baca gazı gibi) akışını sağlamak için basınçlı havanın kullanılmasıdır.
Atomizasyon	Atomizasyon, bir sıvının bir prosese aerosol olarak dağıtılması veya verilmesi için basınçlı havanın kullanılmasıdır.
Yastıklama	Yastıklama, sıvı ve hafif katıları taşımak için basınçlı havanın kullanılmasıdır.
Seyrelik fazda taşıma	Seyrelik fazda taşıma, toz halindeki katıları seyreltik biçimde taşımak için basınçlı havanın kullanılmasıdır.
Yoğun fazda taşıma	Yoğun fazda taşıma ise, katıların yığın biçiminde taşınmasıdır.
Personeli serinletme	Personeli serinletme, operatörlerin serinlemek amacıyla havalandırma sağlayacak biçimde basınçlı havayı kendi üzerlerine yöneltmesidir.
Açık ağızlı el tabancaları	Açık ağızlı el tabancaları, hiçbir regülatör kumandası olmayan, elle tutulan üfleme aletleridir. Bunlar, çoğu kez sağlık ve güvenlik kurallarını ihlâl ederler ve çok tehlikelidirler.
Diyaframli pompalar	Diyaframli pompalar yaygın biçimde regülatörsüz ve hız kontrol vanasız olarak bulunmaktadır. Bu diyaframli pompalar, gerekenden daha yüksek değerlere ayarlanmış regülatörlerle monte edilir.
Vakum üretimi	Vakum jeneratörleri sanayi genelinde kullanılmaktadır. Vakum jeneratörü uygulamalarının bazıları şunlardır: Atölye vakum cihazları, tamburlu pompalar, paletleyiciler, palet çözücüler, kutulayıcılar, ambalaj ekipmanı ve otomatik kalıp kesme ekipmanı.
Vakum venturi	Basınçlı havanın bir venturi, boşaltma pompası (edüktör) veya çıkarma aygıtı (ejektör) ile birlikte kullanılarak negatif basınçlı kütle akışının oluşturulduğu uygulamalar.

Çizelge 3.4 Basıncı hava enerjisi kullanımına alternatifler [30]

Uygunsuz Kullanım	Alternatif	Uygunsuz Kullanım	Alternatif
Açık üfleme	Fan, üfleç, süpürge, elektrikli süpürge	Personeli serinletme	Elektrikle çalışan fan
Serpme	Üfleç, mekanik karıştırma	Açık ağızlı el tabancaları	Üfleç (düşük veya orta basınçlı), düşük basınçlı kompresör, elektrikli süpürge, fırça, süpürge veya diğer mekanik cihaz
Havalandırma	Üfleç, fan	Diyaframli pompalar	Elektrikle çalışan pompa
Atomizasyon	Üfleç, yüksek basınçlı nozul	Vakum üretimi	Elektrikle çalışan vakum pompası, merkezi vakum sistemi
Yastıklama	Üfleç (düşük veya orta basınçlı), düşük basınçlı kompresör	Vakum venturi	Üfleç ile çalıştırılan düşük basınçlı venturi
Seyreltik fazda taşıma	Üfleç (düşük veya orta basınçlı), düşük basınçlı kompresör	Kabin soğutma	Havalandırma fanı, ısı boruları, sıvı soğutma, refrijerasyonlu soğutucu
Yoğun fazda taşıma	Üfleç (düşük veya orta basınçlı), düşük basınçlı kompresör, mekanik konveyör		

3.3 Yakma Tesisleri ve Yanma

Yakma tesislerinde enerji verimliliği temel olarak yanma verimine ve yanma sonucunda oluşan ısı enerjisinin sistem içindeki akışkana transfer oranına bağlıdır. Yanma ise, yakıtların oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardır. Yakıtın tamamen yanmasını sağlayacak oranlarda oksijen ile tepkimeye girmesi hali tam yanmadır. Tam yanma sonucunda yanıcı ve yakıcı maddelerin hepsi tepkimeye girerek karbondioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) oluştururlar. Yetersiz oksijen ile gerçekleştirilen bir yanma reaksiyonunda ise yakıt içindeki hidrokarbonlar tamamen yanamayacağı için, ortaya çevre için de çok zararlı olan karbonmonoksit (CO) oluşumuna sebep olur.

$$\text{Tam Yanma: } C + O_2 \rightarrow CO_2 + 8113 \text{ kcal/kg-C} \quad (3.1)$$

$$\text{Eksik Yanma: } 2C + O_2 = 2CO + 2467 \text{ kcal/kg-C} \quad (3.2)$$

Yakma sistemlerinin verimini etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir; [31]

- Eksik yanma (yanma verimi),
- Fazla hava,
- Baca gazı sıcaklığı,
- Baca gazındaki su buharı nedeniyle olan ısı kaybı,
- Kuru baca gazı nedeniyle olan ısı kaybı,
- Yakıt cinsi,
- Brülörler,
- Buhar basıncı,
- Kazan yükü,
- Isıtma yüzeylerinin kirliliği,
- Kazan yüzeylerinden olan ısı kaybı,
- Blöf nedeniyle olan ısı kaybı,
- Besi suyu ve yanma havası sıcaklığı,
- Kazan ve boru tesisatı dış yüzey yalıtım kalitesi,
- Kondensin geri kazanılması durumu

3.3.1 Hava-Yakıt Oranının Optimize Edilmesi

Kazanlarda tam yanmanın olup/olmadığı bacadan atılan duman gazlarındaki O_2 , CO_2 ve CO değerleri ile baca gazı sıcaklığından belirlenmektedir. Yakma sistemlerinde, baca gazı analizörleri ile bu ölçümü periyodik olarak yapmak ve ölçüm sonuçlarına göre hava/yakıt oranını tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlamak, yanma ve kazan verimini artırmanın en kolay yöntemlerinden biridir.

Hava/yakıt karışımında hava miktarının gereğinden az olması beraberinde eksik yanmayı ve kazan veriminin düşmesine sebep olurken; hava miktarının teorik miktardan çok fazla olması da gereksiz yere dış ortamdan alınan soğuk havanın ısıtılmasına, bu ısının bacadan atılmasına ve yine kazan veriminin düşmesine sebep olur. Bazı yakıtlar için fazla hava oranları Çizelge 3.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5 Bazı yakıtlar için fazla hava oranları

Yakıt Tipi	Yakıcı Şekli	Fazla Hava (%)
Pulverize kömür	Cüruf atma sistemli büyük fırınlar	15-20
Kömür	Dağıtılmalı yakma sistemi	30-60
	Mekanik ızgaralı	15-50
	Alttan beslemeli	20-50
Fuel oil	Yüksek kapasiteli ünitelerde	5-10
	Endüstriyel kazanlarda	10-20
Doğal gaz	Gaz brülörleri	5-10
	Çok yakıtlı brülörler	7-12
Odun	Çeşitli	20+
Şeker kamışı	Çeşitli	25-35

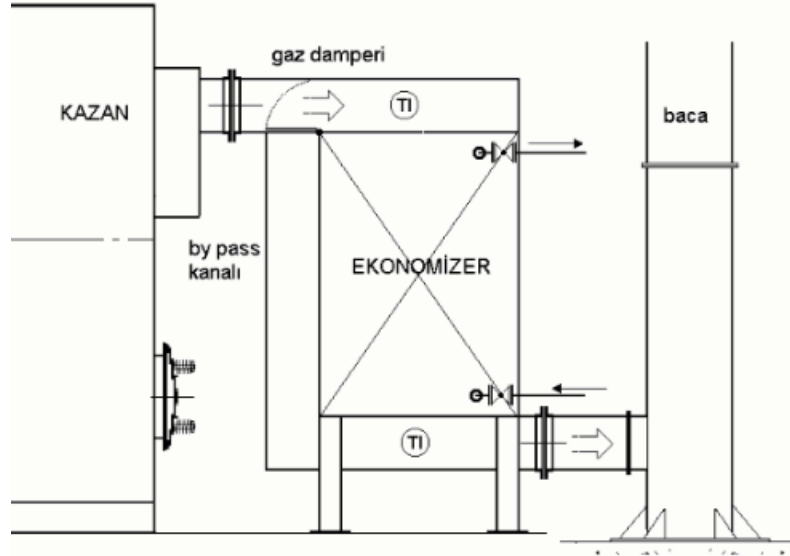
Yakıt tüketimin büyük değerlere ulaştığı büyük kapasiteli kazanlarda, yanma veriminin kontrolü daha büyük önem arz etmektedir. Bunun için brülörlerde elektronik yakma yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde bir elektronik kontrol modülü, brülöre yakıt ve hava girişini ayarlayan yakıt ve hava servo motorlarına kumanda ederek, yakıt hava oranı ayarının çok hassas bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Sistem, baca gazını sürekli olarak analiz ederek, elde ettiği emisyon değerleri ile (O_2 , CO_2 , CO) kendi hafızasındaki mevcut işletme emisyon değerlerini karşılaştırarak ufak hava ayar düzeltmeleri (trim kontrol) yapmaktadır. [32]

3.3.2 Baca Gazları ile Atılan Isının Geri Kazanımı

Yakma sistemlerinde bacalardan çıkan baca gazları ile önemli bir enerji kaybı meydana gelmektedir. Hava yakıt ayarının gereğinden fazla olması, ısı transfer yüzeylerin yetersiz oluşu veya zamanla kirlenmesi, baca gazı sıcaklığının yüksek olmasının arkasındaki temel

sebeplerdir. Bacadan atılan ısı, baca sistemine yerleştirilecek bir ekonomizer veya hava ön ısıtıcısı ile kolaylıkla geri kazanılabilmektedir. Hava fazlalık katsayısı ve yakıt türüne göre değişmekle birlikte, duman gazı sıcaklığındaki yaklaşık 20 °C'lik düşüş toplam kazan veriminde ortalama %1 artış anlamına gelmektedir.

Ekonomizerler; yakma tesislerinde bacaya verilen duman gazının taşıdığı ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktararak geri kazanmak amacıyla kullanılmaktadır. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi tesiste herhangi bir amaçla (banyo, lavabo, vb.) kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında veya mahal ısıtması amacıyla kullanılabilmektedir. Ekonomizere giren ve çıkan duman gazının sıcaklık farkı ne denli büyük olursa, geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olmaktadır. Ancak korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek amacıyla, atık gazların sıcaklıkları belli bir derecenin altına indirilememektedir. [33] Baca gazı sıcaklığının asit yoğuşma sıcaklığının altına düşmesi durumunda, bacada korozyona ve baca çekişinde önemli düşüslere sebep olmaktadır.



Şekil 3.6 Bir kazanda ekonomizer uygulamasının şematik gösterimi [33]

Geri kazanılacak ısının hava veya bir gazla aktarılması söz konusu olduğunda ise hava ısıtıcılar kullanılmaktadır. Hava ısıtıcıları, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde bacaya verilen duman gazı üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanmak amacıyla kullanılmaktadır. Geri kazanılan bu ısı, kazanda yakma havası olarak kullanılan taze havaya verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, pişirme, kurutma, vb. amaçlar için kullanılacak havaya da verilebilmektedir. Yakma havasının sıcaklığındaki her 20 °C artış, yakıt

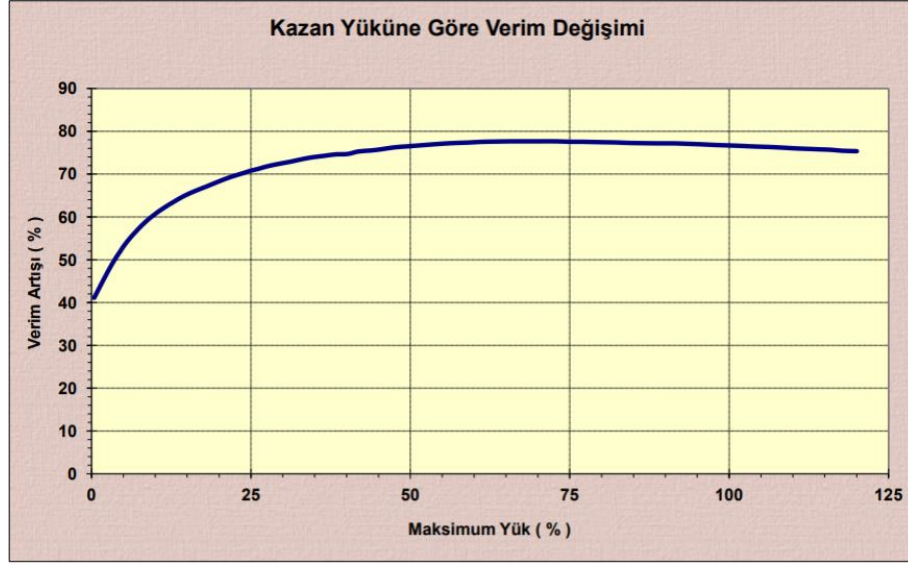
tüketiminde %1 ekonomi sağlamaktadır. Kazanda yakılan yakıtın cinsine bağlı olmakla birlikte, 200°C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarında bir hava ısıtıcısından ekonomik olarak yararlanmak mümkündür. [33]

Çizelge 3.6 Havanın ısıtılmasıyla sağlanabilecek % yakıt tasarrufu

% Yakıt Tasarrufu						
Egzoz Sıcaklığı (°C)	Hava Ön Isıtma Sıcaklığı (°C)					
	315,5	426,6	537,7	648,8	759,9	871
537,7	13	18	-	-	-	-
648,8	14	19	23	-	-	-
759,9	15	20	24	28	-	-
871	17	22	26	30	34	-
982	18	24	28	33	37	-
1093	20	36	31	35	39	43
1204	23	29	34	39	43	47
1315,4	26	32	38	43	47	51

3.3.3 Kazanların Uygun Yükte Çalıştırılması

Tüm sistemlerde olduğu gibi kazanların da ihtiyaca uygun kapasitede seçilmesi ve kazan verim eğrilerine göre en verimli oldukları noktada çalıştırılmaları gerekmektedir. Kazanlarda maksimum verim değerlerine genellikle %70 ve üzeri yüklerde çalışıldığında ulaşılabilmektedir. Kazan yük oranı %50'nin altına düştüğünde ise verim değerleri de hızla düşmektedir. Dolayısı ile kazanlar çalıştırılırken, kazanın kapasitesi göz önünde bulundurularak mümkün olduğunca tam yüke yakın bir yükte çalıştırılması enerji verimliliği ve yakıt tasarrufu açısından önem arz etmektedir. Kazanların yük durumuna bağlı olarak kazan verimindeki değişimler Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kazan yüküne bağlı olarak kazan verimindeki değişimler [31]

3.4 Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği

Ülkemizde sanayi elektrik tüketiminin yaklaşık %70'i, toplam net elektrik tüketiminin %36'sı üç fazlı asenkron elektrik motor sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bir elektrik motorunun satın alma maliyeti, ortalama motor ömrü boyunca toplam maliyetin %2'lik kısmını oluşturmaktadır. Elektrik motorunun kullanım ömrü boyunca tükettiği elektrik enerjisinin maliyeti ise toplam maliyetin %97'sine tekabül etmektedir. [34] Bu veriler, sanayide enerji verimliliğinde hedeflenmesi gereken noktaların başında elektrik motorlarının olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda öncelikli olarak elektrik motorları kullanımında yüksek verimli motorlara geçiş ve mevcut parkın verimli motorlar ile yenilenmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

Elektrik motorları pompa, fan, kompresör, konveyör, vinç, asansör gibi çok çeşitli alanlarda, sabit devir veya değişken devir gibi farklı özelliklerde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının bu kadar yaygın olması, doğru motor seçimini de kritik hale getirmektedir. Gerek motor gerekse sistem verimliliğini yüksek seviyeye çıkarmak için kullanıma göre doğru boyutta ve yüksek verimli elektrik motorları seçilmelidir.

Piyasada satışı yapılan motorların asgari verimlilik sınıfı yıllar bazında kademeli olarak yükseltilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde asenkron motorların verim sınıflarıyla ilgili ilk yasal düzenleme 2009'da yapılmış, bugüne kadar da gelişerek devam etmiştir. Regülasyona göre Avrupa Birliği ülkelerinde 01 Ocak 2017 tarihinden itibaren anma çıkış

gücü 0,75 kW ile 375 kW arasında olan motorlar, IE3 verim seviyesinden düşük olmamalı veya IE2 verim seviyesinde ve değişken hız sürücüsü ile donatılmış olmalıdır. Türkiye de Avrupa Birliği'ne paralel olarak hareket etmiştir. Elektrik Motorları ile ilgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ'e göre 01 Ocak 2017 tarihinden itibaren anma gücü 0,75 kW ile 375 kW arasında olup piyasaya sunulan motorların verim sınıfının en düşük IE3 olması veya IE2 olarak motorun değişken hız sürücüsü ile kontrol edilmesi zorunludur.

Standart bir asenkron elektrik motorunda verim, mildeki mekanik gücün, şebekeden çekilen elektrik gücüne oranıdır. Rotor ve Statorun üretiminde kullanılan çeliğin daha yüksek manyetik karakteristik özelliklere sahip olması, sargılarda %20-60 oranında daha fazla bakır kullanımı, gövdede %35'e yakın daha fazla çelik kullanımı, daha düşük toleranslı yatak kullanımı, rotor ve stator arasında optimum hava boşluğu, daha ince çelik laminent kullanımı, daha verimli rotor tasarımı, düşürülmüş sargı ve sürtünme kayıpları, daha uzun gövdeden dolayı düşürülmüş direnç kayıpları sayesinde motor verimleri sürekli olarak geliştirilmektedir. [34]

Çizelge 3.7 IEC 60034-30-1 (50Hz) standardına göre 2 kutuplu ve 4 kutuplu elektrik motorlarının verim değerleri

P_n	2-pole				4-pole			
(kW)	IE1	IE2	IE3	IE4	IE1	IE2	IE3	IE4
0,12	45	53,6	60,8	66,5	50	59,1	64,8	69,8
0,18	52,8	60,4	65,9	70,8	57	64,7	69,9	74,7
0,2	54,6	61,9	67,2	71,9	58,5	65,9	71,1	75,8
0,25	58,2	64,8	69,7	74,3	61,5	68,5	73,5	77,9
0,37	63,9	69,5	73,8	78,1	66	72,7	77,3	81,1
0,4	64,9	70,4	74,6	78,9	66,8	73,5	78	81,7
0,55	69	74,1	77,8	81,5	70	77,1	80,8	83,9
0,75	72,1	77,4	80,7	83,5	72,1	79,6	82,5	85,7
1,1	75	79,6	82,7	85,2	75	81,4	84,1	87,2
1,5	77,2	81,3	84,2	86,5	77,2	82,8	85,3	88,2
2,2	79,7	83,2	85,9	88	79,7	84,3	86,7	89,5
3	81,5	84,6	87,1	89,1	81,5	85,5	87,7	90,4

Çizelge 3.7 IEC 60034-30-1 (50Hz) standardına göre 2 kutuplu ve 4 kutuplu elektrik motorlarının verim değerleri (Devamı)

P _n	2-pole				4-pole			
(kW)	IE1	IE2	IE3	IE4	IE1	IE2	IE3	IE4
4	83,1	85,8	88,1	90	83,1	86,6	88,6	91,1
5,5	84,7	87	89,2	90,9	84,7	87,7	89,6	91,9
7,5	86	88,1	90,1	91,7	86	88,7	90,4	92,6
11	87,6	89,4	91,2	92,6	87,6	89,8	91,4	93,3
15	88,7	90,3	91,9	93,3	88,7	90,6	92,1	93,9
18,5	89,3	90,9	92,4	93,7	89,3	91,2	92,6	94,2
22	89,9	91,3	92,7	94	89,9	91,6	93	94,5
30	90,7	92	93,3	94,5	90,7	92,3	93,6	94,9
37	91,2	92,5	93,7	94,8	91,2	92,7	93,9	95,2
45	91,7	92,9	94	95	91,7	93,1	94,2	95,4
55	92,1	93,2	94,3	95,3	92,1	93,5	94,6	95,7
75	92,7	93,8	94,7	95,6	92,7	94	95	96
90	93	94,1	95	95,8	93	94,2	95,2	96,1
110	93,3	94,3	95,2	96	93,3	94,5	95,4	96,3
132	93,5	94,6	95,4	96,2	93,5	94,7	95,6	96,4
160	93,8	94,8	95,6	96,3	93,8	94,9	95,8	96,6
200	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
250	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
315	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
355	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
400	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
450	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7
500-1000	94	95	95,8	96,5	94	95,1	96	96,7

Çizelge 3.7’de görüleceği üzere 4 kutuplu 22 kW gücünde IE1 sınıfı verimsiz bir elektrik motorunun IE4 sınıfı verimli bir elektrik motoru ile değiştirilmesi ile %5’in üzerinde enerji verimliliği sağlanmaktadır. Bu oran daha düşük güce sahip motorlarda %40'lara kadar çıkarken daha yüksek güce sahip elektrik motorlarında ise %3'lere kadar düşebilmektedir.

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2016 yılında gerçekleştirdiği saha çalışmaları sonucunda 62 ilde, 23 farklı sanayi sektöründe faaliyet gösteren toplam 887 firmaya ait yaklaşık 95.000 motorun envanteri bilgileri elde edilmiştir. [35] Bu verilere göre;

- Sanayide kullanılan 7,5 kW ve üzeri AC motorların %65'lik bir kısmının IE1, % 27'lik bir kısmının ise IE2 verim sınıfına sahip olduğu tespit edilmiştir. Dönüşüm için tavsiye edilen Premium verimli (IE3) motorların ise sanayide sadece %1'lik bir payı olduğu görülmüştür.
- Sanayide hâlihazırda kullanılan ve verimsiz (IE0, IE1, Değişken Hız Sürücüsü Bulunmayan IE2) olarak nitelendirilen toplam 3.783.694 adet 7,5 kW ve üzeri AC motorun bulunduğu tahmin edilmektedir.
- Bahsi geçen verimsiz motorların tamamının yenilenmesi sonucu yıllık yaklaşık 34 milyar kWh elektrik tasarrufu sağlanacaktır. Böylece her yıl ülkemiz ekonomisine yaklaşık 15 milyar TL katkı sağlanmış olacaktır.

Bu verilere istinaden sanayide kullanılan verimsiz elektrik motorlarının yüksek teknolojili ve verimli olan yenileriyle değiştirilmesi ile imalat sanayi elektrik tüketiminde kayda değer bir düşüş sağlanmasının mümkün olduğu öngörülmektedir. Mevcut motorların yüksek verimli motorlar ile değiştirilmesi kapsamında, enerji tasarrufu hesabı yapabilmek için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$T = t \cdot P_n \cdot x \cdot k \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{eski}}} - \frac{1}{\eta_{\text{yeni}}} \right) \quad (3.3)$$

T: Yıllık toplam tasarruf (TL)

t: Yıllık toplam çalışma saati (h)

P_n : Motorun anma gücü (kW)

x: motorun yüklenme oranı (örneğin %80 ise 0,8 alınacaktır)

k: elektrik enerjisinin birim fiyatı (TL/ kWh)

η_{eski} : Motorun mevcut verim değeri (örneğin %85 ise 0,85 alınacaktır)

η_{yeni} : Motorun yeni verim değeri (örneğin %90 ise 0,90 alınacaktır)

Elektrik motorlarında enerji verimliliği için;

- Mükünse 7,5 kW ve üzeri her bir motorun anma gücü, devir sayısı, verimlilik sınıfı, yıllık çalışma saati gibi etiket ve kullanım bilgilerini içeren bir envanter hazırlanmalıdır. Hazırlanan bu envanter üzerinden özellikle düşük verimlilik sınıfına ve yüksek çalışma saatine sahip motorların hızlı bir şekilde enerji verimli motorlar (IE3, IE4) ile değişimi sağlanmalıdır. Yüksek verimli motor kullanımının enerji verimliliğine ve çevreye olan katkılarının yanında, toplam işletme ve bakım maliyetinin azaltılmasında da fayda sağladıkları unutulmamalıdır,
- Motorlarda yük arttıkça verimde artmakta, motor verimi genellikle %75-%80 yükte azami seviyeye ulaşmaktadır. Buna ek olarak motorların düşük yükte çalışması aşırı ısınmaya sebep olduğundan motorun ömrünü kısaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ihtiyaca göre doğru ölçümlendirme yapılmalı, yüke uygun olarak doğru motor seçilmelidir.
- Elektrik motorları belirli bir sisteme entegre şekilde çalışan ekipmanlardır. Bu sebeple sistem tasarımı yapılırken yalnızca motor verimine değil tüm sistemin verimliliğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin, elektrik motorlarının sıkça kullanıldığı akış tesisatlarında köşe ve dirsek sayıları mümkün olduğunca azaltılmalı ve tesisat çapı uygun seçilmelidir.
- Değişken hızlı sürücüleri, alternatif akımın frekansını ve dolayısıyla motorun devir sayısını değiştirerek motorun gereğinden fazla yük çekmesini önlemektedir. Bu da aynı işin çok daha az enerji kullanılarak yapılmasını sağlamaktadır. Değişken yük altında çalışan elektrik motorlarına sürücü uygulaması yapılması durumunda %50'yi aşan oranlarda enerji tasarrufu mümkündür. Değişken hız sürücüleri aynı zamanda başlangıç anında yüksek demeraj akımlarını da önlemektedir.
- Yanan motorların tekrar sardırılması durumunda %4'e kadar değişen oranlarda verim kaybı olmaktadır. [34] Dolayısı ile yanan motorları sardırarak yerine yüksek verimli motor alınması önerilmektedir. Buna ek olarak, elektrik motorlarında yaşanabilecek arızaları önceden önlemek amacıyla kestirimci bakım uygulamaları yapılmalıdır.

3.5 Aydınlatmada Enerji Verimliliği

TÜİK tarafından yayınlanan 2017 yılı istatistiksel verilerine göre, ülkemizde tüketilen 249.023 GWh elektrik enerjisinin %1,8'si genel aydınlatma amaçlı kullanılmıştır. [20] Bu tüketimin büyük bir bölümü yol, park ve bahçe aydınlatmalarında harcanmaktadır. Toplam elektrik tüketimi içerisinde aydınlatmanın payı ofislerde %40, alışveriş merkezlerinde %30, endüstri tesislerinde de %10'u bulabilmektedir. [36]

Aydınlatmada enerji verimliliği, aydınlatmanın kalitesini düşürmeden ve görsel konfordan ödün vermeden gerekli en az aydınlık şiddetinin sağlanmasıdır. Aydınlatmanın yetersiz olması emniyet ve konfor açısından sakıncalı olduğu gibi, aşırı aydınlatma da kamaşma problemi nedeni ile görüş koşullarını tamamen bozabilmektedir. (36)

Bir lambanın tüketmiş olduğu birim enerji başına(W) üretmiş olduğu ışık akısı(lümen) değeri, o lambanın verimini gösterir. Yani, bir lambanın 'lm/W' oranı ne kadar yüksekse o lambanın verimi de o kadar yüksektir. Son yıllarda yüksek 'lm/W' oralarına sahip LED aydınlatma sistemleri hayatımıza girmiş ve birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. LED'lerin az enerji tüketmeleri, uzun ömürlü olmaları, boyutlarının küçük oluşu, dayanıklı ve güvenilir olmaları klasik aydınlatma sistemlerine göre daha avantajlı olmalarını sağlamaktadır.

Çizelge 3.8 Aydınlatma teknolojilerinin ömür ve verim açısından karşılaştırması [37]

	Akkor Telli	Halojen	Floresan	Metal Halide	Y. B. Civa Buharlı	Y.B. Sodyum Buharlı	A.B. Sodyum Buharlı	Led
Etkinlik Faktörü (lm/W)	6-16	12-25	60-104	72- 110	40-59	88-130	100-192	80-150
Ortalama Ömür (Saat)	1000	1000- 4000	5000- 16000	6000- 12000	15000- 25000	16000- 32000	16000	25000- 50000

Aydınlatma tasarımı yapılırken ortamın amacına göre aydınlık düzeyinin belirlenmesi hem enerji verimliliği açısından hem işlerin amacına uygun olarak yürütülmesinden hem de iş sağlığı ve güvenliği açısından çok önemlidir. Aydınlık düzeyinin belirlenmesinde

ortamın ne amaçla kullanılacağına bilinmesinin yanı sıra ortamı kullanacak kişilerin yaşları, ortamda kullanılacak malzemelerin, araç ve gereçlerin niteliklerinin ne olacağı, nesne ile çevre arasındaki ışık karşılığı, görsel algılama süresi, binanın konumu gibi birçok parametrenin de bilinmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.9 İşyerlerinde bazı alanlarda gerekli aydınlatma şiddeti değerleri

	Aydınlatma Şiddeti (lüks)
Koridorlar ve depolama alanları	100
Ofis çalışmaları	500
Yüzey hazırlama ve boyama	750
Montaj, kalite kontrol ve renk kontrolü	1000

Aydınlatmada enerji verimliliği sağlamanın bir yolu da gün ışığından da maksimum seviyede yararlanmaktan geçmektedir. Bunun için pencerelerin ve çatıdaki şeffaf aydınlatma panellerinin temiz ve içeriye ışığın girmesini engellemeyecek şekilde önlerinin açık olması gerekmektedir.

Aydınlatmanın otomatik olarak kontrol edilmesi ile de büyük ölçüde enerji verimliliği sağlamak mümkündür. Bunun için gün ışığı sensörleri, çok seyrek ziyaret edilen alanlarda hareket detektörleri, çalışma saatlerine göre aydınlatma kontrolünü düzenlemek için zaman saatleri ve çevre aydınlatmalarını ekonomik şekilde programlayabilmek amacı ile astrolojik zaman saatleri kullanılabilir. Aydınlatma kontrolü ile enerji tüketiminde %30 ve işletme giderlerinde %10 tasarruf sağlanabilir. Doğru seçilen ve uygulanan bir aydınlatma kontrol sistemi ile konforlu bir çalışma ortamı oluşturulur. [38]

Aydınlatmada enerji tasarrufunun aşağıda belirtilen bazı basit tedbirler ile sağlanabilir: [39]

- Yüksek verimli lambalar tercih edilmelidir. Bu tercih etkinlik faktörüne (Lümen/Watt oranına) göre yapılmalıdır. Düşük güç tüketimine sahip olmaları, uzun yıllar boyunca sorunsuz çalışabilmeleri, dayanıklı ve çevreci olmaları nedeniyle LED'ler hem iç aydınlatmada hem de dış aydınlatmada artık vazgeçilmez bir teknoloji haline gelmiştir,

- Aydınlatma seviyesi ortamın amacına göre ve iş sağlığı ve güvenliği standartlarına göre belirlenmeli, kullanılmayan alanlar aydınlatılmamalı, bulunan ortamdaki aydınlatma lambaları kapatılmalıdır,
- Gün ışığından mümkün olduğunca faydalanılmalıdır. Binalar doğal aydınlık avantajını daha iyi kullanacak şekilde düzenlenmelidir,
- Aydınlatma armatürlerinin periyodik bakımları yapılmalıdır. İyi yapılmayan bakım sonucunda lamba üzerinde biriken tozlar faydalı ışık miktarını azaltmaktadır,
- Zamanlayıcılar, fotoseller ya da gün ışığı sensörleri vasıtasıyla aydınlatmanın kontrol edilmesi, enerji tasarrufu açısından önemlidir,
- Duvarlar ve tavanlar açık renkli boya ile boyanmalı, dekorasyon eşyaları mümkün olduğunca açık renk seçilmelidir.

3.6 Mekanik Tesisatlarda Yalıtım

Endüstriyel tesislerde ısıtma ve soğutma sistemlerindeki kayıpların azaltılmasında, mekanik tesisat yalıtımı kritik önem sahiptir. Bu yüzden mekanik tesisatı oluşturan boruların, tankların, depoların, klima kanallarının, vanaların ve armatürlerin, içinden geçen akışkanın sıcak veya soğuk oluşuna göre uygun özelliklere sahip ve uygun kalınlıktaki yalıtım malzemeleri ile yalıtılmaları gerekmektedir.

Enerji kazanımı, sıcak veya soğuk olan yüzeyin büyüklüğüne, yalıtılacak olan yüzeyden geçen akışkan ile ortam sıcaklıkları arasındaki farka, ortamın bağıl nemine ve ısı yalıtım malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden kullanılacak olan yalıtım malzemesinin özelliklerini ve nerelerde kullanılabileceğini çok iyi bilmek gerekmektedir. Bir mekanik tesisat yalıtım malzemesinde aranması gereken temel özellikler aşağıdaki gibidir; [40]

- Isı iletkenlik katsayısı (λ),
- Buhar difüzyon direnç katsayısı (μ),
- Yangına dayanıklılık,
- Uygulama rahatlığı,
- Korozyon riskinin az oluşu,

- Ekonomik olması,
- Dayanım sıcaklığı,
- Malzemenin yangın esnasında çıkardığı zehirli gaz miktarı (Toksosite),
- Duman yoğunluğu (Opasite)

Bütün bu özellikler yalıtılacak olan tesisatın soğuk, ılık veya sıcak oluşuna göre önem kazanmaktadır. Binalardaki mekanik tesisat içinden geçen akışkanın sıcaklığına göre 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar ve kullanılması önerilen yalıtım malzemeleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Akışkan sıcaklığına göre kullanılabilecek ısı yalıtım malzemeleri [40]

<u>Soğuk Hatlar T <6°C</u>	<u>Ilık Hatlar 6°C<T<100°C</u>	<u>Sıcak Hatlar T >100°C</u>
Polietilen	Polietilen	Cam Yünü
Kauçuk Köpüğü	Kauçuk Köpüğü	Taş Yünü
Cam Yünü *	Cam Yünü *	Kauçuk Köpüğü **
Taş Yünü*	Taş Yünü *	Cam Köpüğü
EPS	Cam Köpüğü	Seramik Yünü
XPS	Poliüretan	Kalsiyum Silikat
Poliüretan		
T: Akışkan veya Ortam Sıcaklığı *: Soğuk ve ılık hatlarda mevcut akışkan sıcaklığının, ortam sıcaklığından daha düşük olması durumunda kullanılan camyünü, taş yünü gibi lifli ısı yalıtım malzemelerinin yüzeyinin yoğuşma riskine karşı kesinlikle alüminyum folyo veya buhar kesici bir malzemeyle sürekli olarak kaplanmalı sızdırmazlığı sağlanmalıdır.		

Piyasada kullanılan yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları ise Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklıkları

Seramik Yünü	1800 °C	Kauçuk Köpüğü	105 °C
Taş yünü	750 °C	Polietilen Köpük	95 °C
Cam Köpüğü	430 °C	Expande Polistren	80 °C
Camyünü	250 °C	Extrüde Polistren	80 °C
Poliüretan Köpük	110 °C		

Tesisatta kullanılan vanaların da uygun bir şekilde yalıtılması gerekmektedir. Vana ve armatürlerin yalıtılmaması durumunda aynı çaplı 3-4 metre boruya eşdeğer miktarda enerji kaybı meydana gelebilmektedir. Bu değer vana çapına ve akışkanın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. [40] Vana ve diğer armatürlerin yalıtımları şimdiye kadar galvaniz saçtan imal edilen kutu içerisine camyünü ya da taş yünü doldurmak sureti ile yapılmaktaydı. Fakat bu yöntem; bir yandan vananın bakımını zorlaştırırken diğer yandan da olası bir sızıntı durumunda yalıtım malzemesinin özelliklerinin bozulmasına neden olmakta ve uygulama güçlükleri yaratmaktadır. Günümüzde vana yalıtımları için kolay bir şekilde sökülüp takılabilen yalıtım ceketleri kullanılmaktadır.

Tesisat yalıtımında dikkat edilmesi gerek noktalardan biri de askı ve kelepçeler ile duvar veya tavana sabitlenen borularda, taşıyıcı konstrüksiyon elemanlarının doğrudan sıcak yüzey ile temas etmeleri durumunda oluşan ısı köprüleridir. Boruları tavan ve duvarlara tespit eden askılar sebebiyle, bütün boru boyundan meydana gelen ısı kaybının yaklaşık 1/10 oranı kadar ısı kaybı olmaktadır. [41]

Tesisat yalıtımı ile sağlanan enerji kazançları dışında, hattı oluşturan boruların yoğuşma sebebiyle korozyona uğraması engellenmekte; yüksek sıcaklıkta akışkan taşıyan ekipmanlarda da olası iş kazalarının önüne geçilmektedir. Buna ek olarak içerisinde durgun halde akışkan bulunan tesisatların çok soğuk ortamlarda donması da doğru yalıtımla önlenmektedir.

Sonuç olarak, işletmelerimizde binalar dahil tüm ısıtma ve soğutma sistemlerinin tesisatları ile birlikte periyodik olarak termal kamera ile kontrolleri yapılmalıdır. Temel

prensip olarak, yüzey sıcaklığı 60°C'nin üzerinde olan yüzeylerin tamamı uygun yalıtım malzemesi ve doğru yalıtım kalınlığında yalıtılmalıdır. Yüzey sıcaklığı 60°C'ye kadar olan yüzeylerin yalıtımında ise teknik ve ekonomik şartlara göre hareket edilmelidir. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne göre binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ve klima gibi enerji kullanımını etkileyen tesisatlarında kullanılan borular, kollektörler ve bağlantı malzemeleri, vanalar, havalandırma ve iklimlendirme kanalları, sıhhi sıcak su üreticileri ve depolama üniteleri, yakıt depoları ve diğer mekanik tesisat ekipmanları, ısı köprüsüne yol açmayacak şekilde ve yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasında 5°C'den fazla fark ve yüzeyde yoğuşma olmayacak şekilde yalıtılmalıdır. [16]

ENDÜSTRİYEL BİR İŞLETMEDE ENERJİ ETÜDÜ

Çalışmanın ilk aşamasında Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği projelerinin fizibilite hesaplarında kullanılmak üzere visual basic programlama dili kullanılarak bir hesaplama yazılımı oluşturulmuştur. Bu yazılım, Arçelik işletmelerinde sıkça uygulanan 45 farklı enerji verimliliği projesinin kazanç hesaplarının, teorisine uygun ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu yazılım ile, Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği projelerinin enerji ve finansal kazançlarının hesabında standardizasyon sağlanmıştır.

Hesaplama programında her bir proje ayrı ayrı ele alınmış, hesap tablolarının yanında konu ile ilgili teorik bilgilere de yer verilmiştir. Hesaplama tablolarında istenen bilgilerin ölçüm değerlerine göre doldurulmasından sonra yıllık enerji kazancı, yıllık parasal kazanç, geri ödeme süresi gibi değerler otomatik olarak hesaplanmaktadır. Arçelik'in yurtdışı işletmelerinde çalışan personelin de faydalanabilmesi için program İngilizce olarak hazırlanmıştır. Kaynak olarak çoğunlukla Prof. Dr. Arif Hepbaşlı hocanın "Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi" kitabı kullanılmış, [42] buna ek olarak farklı kaynaklarda yer alan bazı tablo, grafik ve teorik bilgilerden de faydalanılmıştır.

Çalışmanın bu aşamasında ise Arçelik'in bir işletmesinde enerji etüdü yapılarak kazanlar, fırınlar, pompalar, elektrik motorları, basınçlı hava sistemi gibi ekipmanlardan ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen veriler, hesaplama programında kullanılarak bu sistemlerin enerji tasarruf potansiyelleri hesaplanmıştır. Bu sayede hem program gerçek ölçüm verileri üzerinden denenmiş hem de endüstriyel bir işletmede enerji etüdünün yapılmıştır. Ayrıca işletmenin son üç yıla ait üretim ve enerji tüketim verileri üzerinden enerji performansı analiz edilmiştir.

4.1 Enerji Etüdünün Kapsamı

Arçelik'in bir işletmesinde gerçekleştirilen enerji verimliliği etüdü kapsamında yapılan ölçümler ve incelemeler aşağıda belirtilmiştir;

- Genel enerji tüketim analizleri,
- Kızgın su kazanlarında atık ısı geri kazanım analizleri,
- Boyahane fırınlarında atık ısı geri kazanım analizleri,
- Baca gazı analizleri,
- Pompaların verimlilik analizleri,
- Basınçlı hava sisteminin incelenmesi,
- Elektrik motorlarının verimlilik analizleri,
- Aydınlatma armatürlerinin verimlilik analizleri

4.2 Genel Enerji Tüketim Analizleri

Çalışma kapsamında incelenen Arçelik işletmesinin son 3 yıla ait ortalama enerji tüketimi 8000 TEP seviyesinde olup, enerji tüketiminde en büyük payı elektrik ve doğalgaz tüketimleri oluşturmaktadır. Isıl yoğun bir fabrika olmamasına rağmen yüksek doğalgaz tüketiminin temel sebebi, işletmede mevcut 6,3 MW kurulu gücündeki kojenerasyon tesisidir. İşletmede elektrik tüketimleri, plastik enjeksiyon makineleri, presler, kompresörler, soğutma sistemleri, montaj hatları ve aydınlatma gibi birçok farklı alanda gerçekleşmektedir. Doğalgaz ise kızgın su kazanları, boyahane kurutma fırınları, shrink hatları gibi proseslerde tüketilmektedir. İşletmenin son 3 yıla ait enerji tüketim bilgileri Çizelge 4.1'de detaylı olarak verilmiştir. İşletmenin üretim ve enerji tüketim bilgilerinin gizliliği açısından işletme verileri belirli bir katsayı ile çarpılarak boyutsuzlaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 İşletmenin son 3 yıla ait enerji tüketim bilgileri

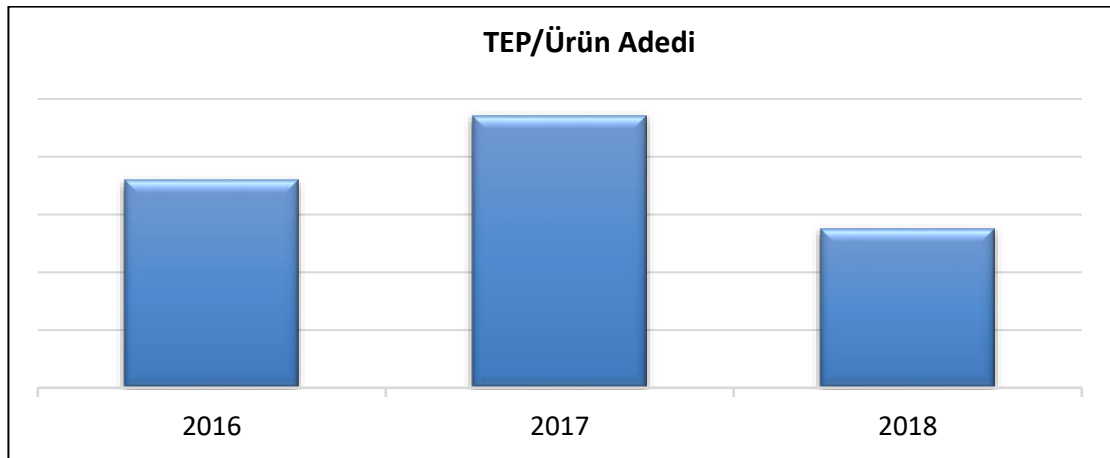
	Elektrik (Satın Alınan) (kWh/yıl)	Toplam Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)	Toplam Doğalgaz Tüketimi (sm3/yıl)	Fuel Oil No:4 Tüketimi (Ton/yıl)	LPG Tüketimi (kg/yıl)	TEP Miktarı
2016	21.243.346	38.235.036	6.861.076	533	154.605	8.167
2017	22.170.119	39.024.272	6.789.396	554	167.002	8.222
2018	23.833.340	37.771.232	5.900.354	428	150.127	7.492

4.2.1 Özgül Enerji Tüketimi

Özgül (spesifik) enerji tüketimi birim ürün başına tüketilen enerji olarak tanımlanmakta olup, enerji verimliliğini değerlendirmede önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Örneğin bir fabrikada enerji tüketimi 'TEP' ile; spesifik değişken ise 'üretim adedi' ile tarif ediliyorsa;

$$\text{Özgül Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Enerji Tüketimi (TEP)}}{\text{Üretim Adedi}} \text{ olarak ifade edilir.} \quad (4.1)$$

Spesifik enerji tüketimi, üretim adedi, hava koşulları, üretilen üründen kaynaklanan değişkenlikler gibi birçok parametreye bağlıdır. Özgül enerji tüketim değerinin büyümesi enerji verimliliği performansının düştüğünün ve enerji tüketiminin gereksiz olarak arttığının bir göstergesidir.



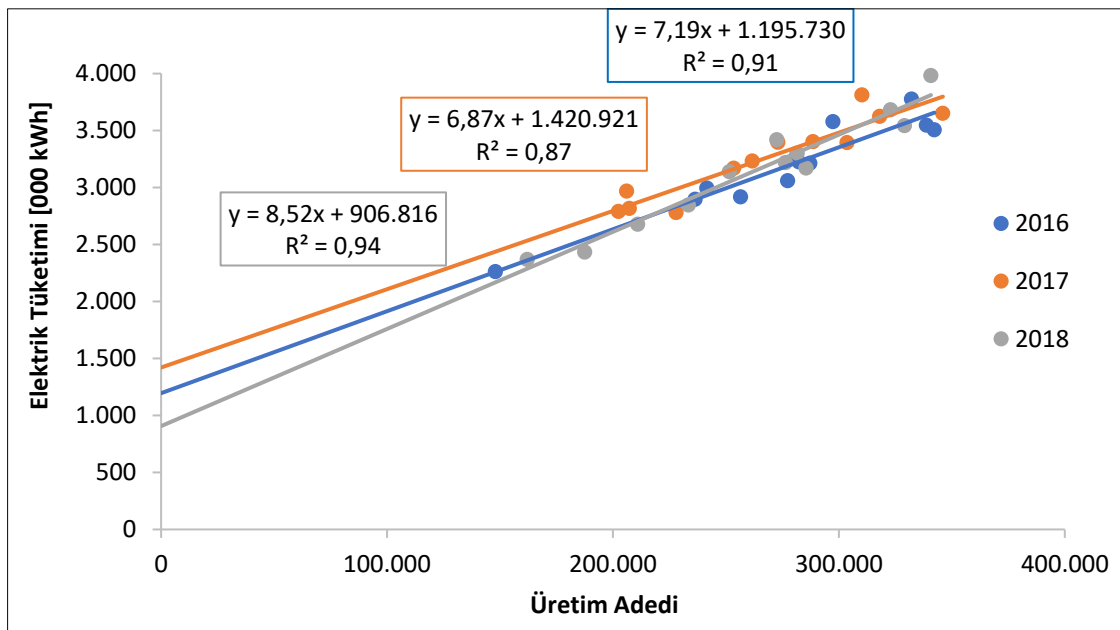
Şekil 4.1 İşletmenin son 3 yıla ait özgül enerji tüketimleri

Arçelik işletmesinin son 3 yıla ait özgül enerji tüketimi (TEP/ürün) incelendiğinde, 2017 yılında ürün başına enerji tüketiminin arttığı; 2018 yılında ise azaldığı görülmektedir. 2017 yılındaki artışın sebepleri incelendiğinde ise, kış mevsiminin daha soğuk geçtiği ve bunun bir göstergesi olarak ısıtma gün sayısının (HDD) 2016 yılına göre %10,8 arttığı görülmektedir.

4.2.2 Regresyon Analizi

İşletmenin enerji performansındaki değişimi incelemek ve özellikle üretimle ilgili olmayan sabit enerji tüketimlerini görebilmek için regresyon analizi kullanılabilir. Regresyon analizi, enerji tüketiminin üretim ve hava sıcaklığı gibi çeşitli değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmesinde en ideal yöntemlerden biridir.

Arçelik fabrikasının aylık bazda ve son 3 yıla ait üretim değerlerine karşılık gelen elektrik tüketimlerinin grafiği aşağıdaki gibidir. (Şekil 4.2) Grafikte her bir yıl için üretim ve tüketim arasındaki ilişkiyi gösteren lineer doğrular çizilmiş ve her bir doğrunun denklemleri belirtilmiştir.



Şekil 4.2 İşletmenin son 3 yıla ait üretim ve elektrik tüketimi analizi

Bu analiz ile $y = ax + b$ şeklinde bir doğru denklemi elde edilmiştir.

Burada;

y: Toplam elektrik tüketimini (kWh)

a: Üretim adedindeki (spesifik değişken) her bir birim artışa karşılık gelen enerji tüketim artışını

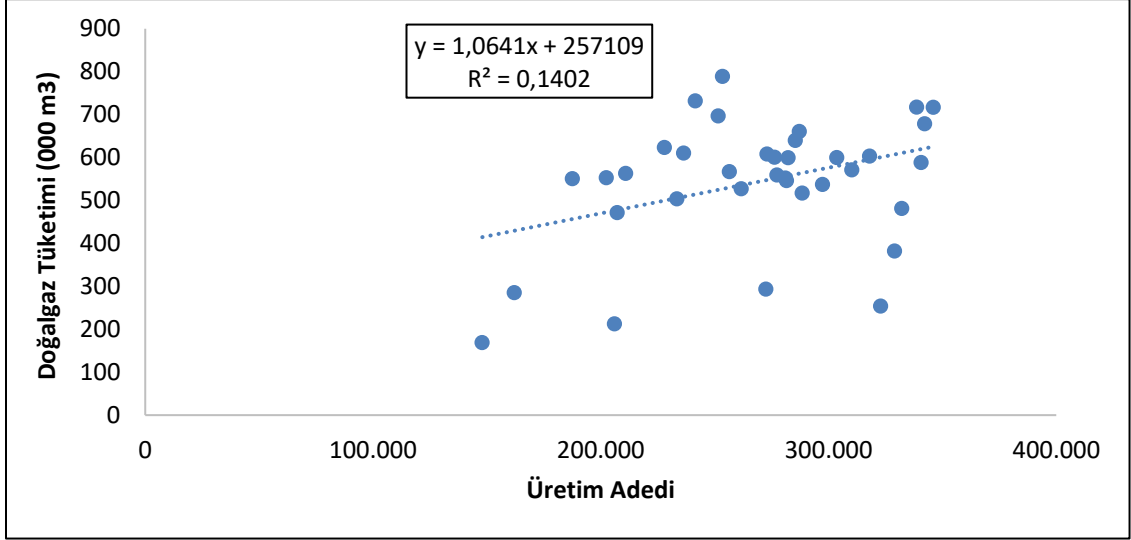
x: Spesifik değişkeni (yukarıdaki grafik için üretim adedi)

b: Üretimle ilgisi olmayan sabit enerji tüketimini ifade etmektedir. [43]

Enerji tüketimi ile üretilen ürün adedi arasındaki doğrusal ilişkisinin derecesi R^2 katsayısı ile ifade edilmektedir. R^2 'nin alabileceği değerler 0 ile 1 arasında değişmektedir. R^2 'nin 1'e eşit olması, enerji tüketimindeki değişimin tamamının üretilen ürün adedi ile açıklanabildiğini gösterir. Yani grafikteki tüm noktalar regresyon doğrusu üzerindedir. R^2 'nin 0'a eşit olması ise enerji tüketimindeki değişimin üretilen ürün adedi ile bir ilişkisinin olmadığını gösterir. Örneğin 2018 yılında R^2 değerinin %94 çıkması bize Arçelik işletmesinin 2018 yılındaki elektrik tüketimi değişiminin %94 oranında üretilen ürün adedi ile açıklanabildiğini göstermektedir. Geri kalan %6'lık kısım ise, hava sıcaklığı, ürün tipi, çalışma saatleri gibi diğer farklı parametrelere bağlıdır.

Elektrik için yapılan regresyon analizinin sonuçları incelendiğinde üretimin sıfır olduğu durumda bile işletmenin 2016 yılında yaklaşık 1,2 milyon kWh; 2017 yılında yaklaşık 1,4 milyon kWh ve 2018 yılında yaklaşık 907 bin kWh elektrik tükettiği görülmektedir. Sabit enerji tüketimleri 2017 yılında ciddi bir artış göstermiş ancak alınan tedbirlerle 2018 yılında düşürülmüştür. Ancak 2018 yılında dahi, işletmenin sabit elektrik tüketimi, aylık ortalama elektrik tüketiminin %28,81'ine eşittir.

Arçelik işletmesinin son 3 yıla ait doğalgaz tüketimi ile üretim adedi arasındaki ilişkiye bakıldığında (Şekil 4.3) korelasyon katsayısının %14 gibi çok küçük bir değere karşılık geldiği, doğalgaz tüketimindeki değişimin üretim adedi ile yeterince açıklanamadığı görülmüştür.



Şekil 4.3 İşletmenin son 3 yılı ait üretim ve doğalgaz tüketimi analizi

İşletmede doğalgaz tüketiminin ana kullanım amaçlarından biri kış aylarında yapılan ortam ısıtmasıdır. Dolayısı ile iki değişkenli bir analiz yapılarak doğalgaz tüketimi, üretim adedi ve ısıtma gün sayısı ile açıklanmaya çalışılmıştır. Şekil 4.4.'de de görüleceği üzere yapılan iki değişkenli regresyon analizinde R^2 değeri %68 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, doğalgaz tarafında hala tüketimi etkileyen %32'lik bir değişkenin olduğunu göstermektedir.

Regression Statistics					
Multiple R	0,825359983				
R Square	0,681219102				
Adjusted R Square	0,661899047				
Standard Error	85324,8397				
Observations	36				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	5,13404E+11	2,56702E+11	35,25968849	6,4213E-09
Residual	33	2,40251E+11	7280328271		
Total	35	7,53655E+11			
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Sabit	35222,30371	81941,16955	0,429848682	0,670099664	-131488,2592
Üretim Adedi	1,518341879	0,285803428	5,312539076	7,33526E-06	0,936870433
HDD	1013,465698	135,428163	7,483419074	1,32852E-08	737,935029

Şekil 4.4 Doğalgaz tüketimi için iki değişkenli regresyon sonucu

Yapılan analiz sonucunda $y=ax+by+c$ şeklinde bir denklem edilmiştir. Burada a ve b katsayıları üretim adedi ve ısıtma gün sayısı (HDD) değişkenleri için katsayıları oluştururken; c sabiti ise iki spesifik değişkenin sıfır olduğu koşullardaki üretime bağlı olmayan doğalgaz tüketimini ifade etmektedir. İşletmenin sabit doğalgaz tüketimi aylık ortalama doğalgaz tüketiminin %6,48'ini oluşturmaktadır.

4.2.3 CUSUM Analizi

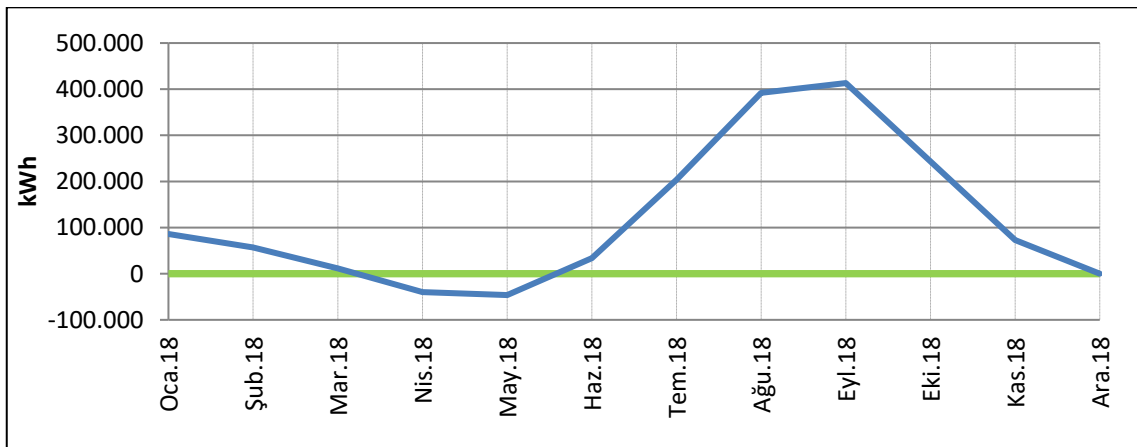
Bir işletmenin enerji performansını değerlendirmenin başka bir metodu olarak Kümülatif Toplam Değerler (CUSUM) grafiği kullanılmaktadır. Bir işletmeye ait CUSUM grafiği çizmeden önce, üretim verisi ve aylık bazda bu üretilere karşılık gelen enerji tüketimleri bilinmelidir. Bu üretim ve tüketim değerleri kullanılarak yukarıda anlatıldığı şekilde regresyon analizi yapılmalı ve doğru denklemi kurmak için gerekli olan eğim ve sabit katsayılar hesaplanmalıdır.

Regresyon analizi ile oluşturulan standart doğru denklemi kullanılarak, üretim miktarına karşılık gelen teorik enerji tüketimleri hesaplanmalıdır. Gerçek ve teorik enerji üretimleri arasındaki farkların toplamaları alınarak CUSUM grafiği çizilmelidir. Grafik üzerinde eğimin negatif olduğu alanlar, işletmenin enerji verimliliği performansında iyileşme olduğu zamanları göstermektedir. Eğimin pozitif olduğu alanlar ise enerji verimliliği performansında kötüleşme olduğunun bir göstergesidir. [43]

Arçelik işletmesinin 2018 yılı elektrik tüketim verilerine ve standart doğru denklemine göre hazırlanmış CUSUM çizelgesi (Çizelge 4.2) ve grafiği (Şekil 4.5) aşağıdaki gibidir;

Çizelge 4.2 Arçelik işletmesinin 2018 yılı elektrik tüketim verilerine göre CUSUM değerler tablosu

Tarih	Gerçek Elektrik Tüketimi-kWh	Teorik Elektrik Tüketimi-kWh ($E=8,5244 \cdot \text{Üretim Adedi} + 906816$)	Fark	CUSUM
Oca.18	3.137.440	3.051.512	85.928	85.928
Şub.18	2.676.364	2.705.371	-29.006	56.921
Mar.18	3.217.398	3.262.679	-45.281	11.640
Nis.18	2.845.155	2.896.803	-51.648	-40.007
May.18	3.300.995	3.307.304	-6.309	-46.316
Haz.18	2.368.272	2.288.442	79.830	33.514
Tem.18	3.981.479	3.811.480	169.999	203.513
Ağu.18	3.418.897	3.230.295	188.603	392.115
Eyl.18	3.680.472	3.659.370	21.102	413.217
Eki.18	3.542.002	3.711.864	-169.861	243.356
Kas.18	3.169.916	3.340.524	-170.608	72.748
Ara.18	2.432.841	2.505.712	-72.871	-123

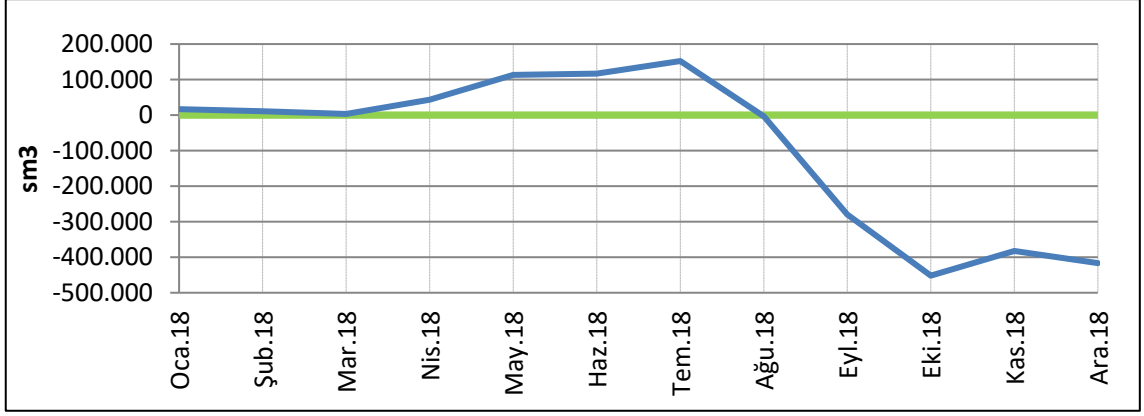


Şekil 4.5 İşletmenin 2018 yılı elektrik tüketim verilerine göre CUSUM grafiği

Elektrik için hazırlanan CUSUM grafiği (Şekil 4.5) incelendiğinde, işletmenin enerji verimliliği performansının Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kötüleştiği ancak Ekim ayı itibarıyla hızlı bir iyileşme olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 Arçelik işletmesinin 2018 yılı doğalgaz tüketim verilerine göre CUSUM değerler tablosu

Tarih	Gerçek Doğalgaz Tüketimi-sm3	Teorik Doğalgaz Tüketimi-sm3 (E=1,518*Üretim Adedi + 1013,46*HDD + 35222)	Fark	CUSUM
Oca.18	696.373	679.717	16.655	16.655
Şub.18	562.544	568.404	-5.859	10.796
Mar.18	600.348	607.875	-7.527	3.269
Nis.18	503.541	463.656	39.885	43.154
May.18	545.925	475.965	69.960	113.114
Haz.18	284.792	281.314	3.478	116.592
Tem.18	588.116	552.593	35.523	152.115
Ağu.18	293.283	449.074	-155.791	-3.676
Eyl.18	253.753	529.553	-275.800	-279.476
Eki.18	381.721	554.105	-172.384	-451.860
Kas.18	639.574	570.054	69.520	-382.340
Ara.18	550.384	584.528	-34.144	-416.484

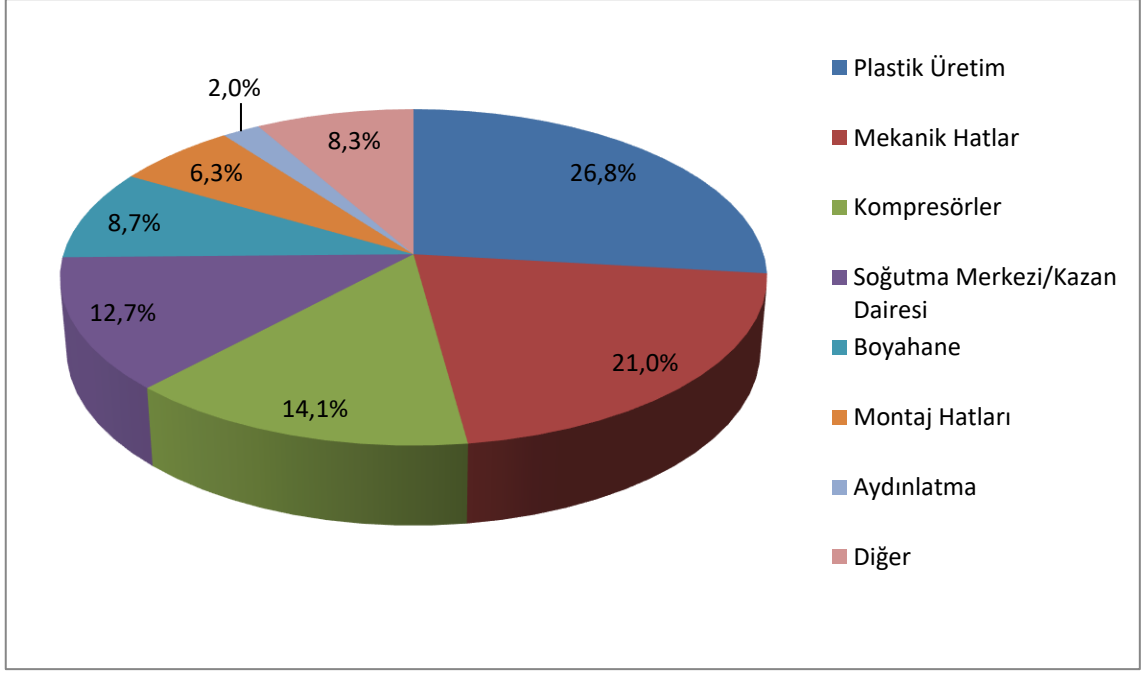


Şekil 4.6 İşletmenin 2018 yılı doğalgaz tüketim verilerine göre CUSUM grafiği

Doğalgaz için hazırlanan CUSUM grafiği incelendiğinde, işletmenin enerji verimliliği performansının Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Kasım aylarında kötüleştiği ancak Ağustos ayı ile birlikte hızlı bir iyileşme olduğu görülmektedir. Hem elektrik tarafında hem de doğalgaz tarafında özellikle yılın ikinci yarısında görülen hızlı iyileşme, bazı enerji verimliliği ve enerji yönetim uygulamalarının bu dönemde yoğunlaştığının bir göstergesi olabilir.

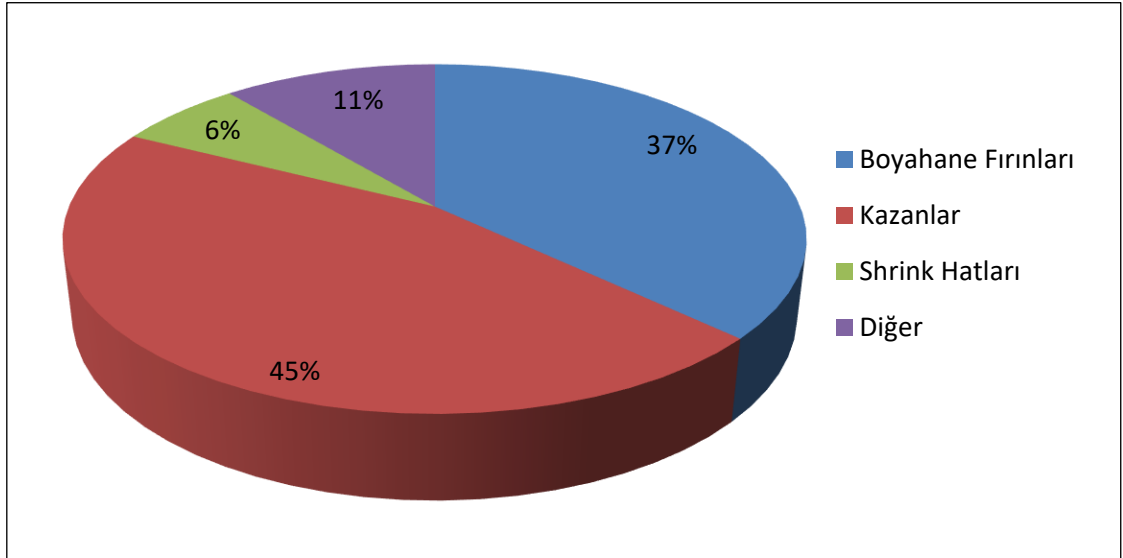
4.2.4 Önemli Enerji Kullanan Prosesler (ÖEK'ler)

İşletmede en çok elektrik enerjisinin kullanıldığı prosesler incelendiğinde plastik üretim, mekanik hatlar, kompresörler ve yardımcı tesislerin elektrik tarafında önemli enerji kullanıcıları olduğu görülmektedir. Bu 4 ana kalemin toplam elektrik tüketimi içindeki payı %75'e ulaşmaktadır. İşletmelerdeki 'önemli enerji kullanıcıları' en büyük enerji tüketiminin olduğu alanlar olmakla birlikte, enerji tasarrufu açısından yüksek potansiyel barındıran alanlardır.



Şekil 4.7 İşletmenin elektrik tüketim dağılımı

Kojenerasyon tesisinin tüketimi hariç, doğalgaz tüketiminde kızgın su kazanları ve boyahane fırınları en büyük tüketim noktaları olarak öne çıkmaktadır. Sadece bu iki tüketim noktasında tüketilen doğalgaz miktarı, işletmenin toplam doğalgaz tüketiminin %82'sini oluşturmaktadır.



Şekil 4.8 İşletmenin doğalgaz tüketim dağılımı

4.3 Boyahane Fırınları

4.3.1 Sistem Tarifi

Arçelik işletmesinde üretilen sac parçaların korozyon direncinin artırılması için, yüzey işleme, kataforez kaplama ve toz boyama işlemlerinden geçirilmektedir. Kataforez ve toz boya işlemlerinin sonrasında parçalar kürleme fırınlarına girmektedir. Kapalı devre çalışan boya kürleme fırınlarında, sirküle edilen havanın ısıtılma işlemi doğalgaz yakıtlı brülörler ile sağlanmaktadır. Bu brülörlerin teknik özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Brülörlerin teknik özellikleri

Ekipman	Marka	Model	Isı Kapasitesi
Kataforez 1	Weishaupt	G3/1-E	90-630 kW
Kataforez 2	Weishaupt	G3/1-E	90-630 kW
Son kat 1. hat	Weishaupt	WG40N/1-A ZM-LN	55-550 kW
Son kat 2. hat	Weishaupt	G5/1-D	200-1000 kW

4.3.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

Boyahanede kullanılan fırınların atık ısı miktarını belirlemek amacıyla baca gazı debisi ve sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca brülörlerinin yanma verimliliğinin incelemek amacıyla fırın bacalarından gaz analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde özellikle kataforez fırınlarının baca gazı sıcaklık ve debilerinin çok yüksek olduğu görülmüştür.

Doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı yanma sistemlerinde, baca gazındaki ideal O₂ değeri %2-3 arasındadır. [44] Son kat 1. Hat ve Kataforez 2 fırınlarının O₂ değerlerinin ideal yanma değerinden yüksek, son kat 2. hattı O₂ değerinin ise ideal yanma değerinden düşük olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.5’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Boyahane fırınlarının ölçüm verileri

BACA GAZI ANALİZ DEĞERLERİ						BRÜLÖR VERİLERİ
FIRINLAR	Sıcaklık	O ₂	CO ₂	CO	Debi	Doğalgaz Debisi
	°C	%	%	ppm	m ³ /h	Nm ³ /h
Son Kat 2. Hat	215	0	9,54	2.000	868,54	43,69
Son Kat 1. Hat	175	3,25	8,04	0	941,75	43,46
Kataforez 1	265	2,48	8,4	0	1.119,05	44,69
Kataforez 2	280	3,98	7,7	0	1.255,55	44,69

4.3.3 Hesaplamalar

Çizelge 4.5'deki ölçüm dataları, hazırlanan hesaplama yazılımındaki ilgili hücrelere girilerek, fırın bacalarından ekonomizer ile geri kazanılabilecek atık ısı miktarı ve hava yakıt ayarı yapılarak yanma veriminin optimize edilmesi sonucu elde edilebilecek teorik enerji kazançları hesaplanmıştır. Aşağıda örnek olması adına sadece Son Kat 2. Hat fırınının detay hesaplamalarına yer verilmiş olup, diğer fırınların kazanç çıktıları Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Baca gazından atık ısı geri kazanımı aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$Q_{bg} = m_{bg} \cdot C_p (T_{bg,g} - T_{bg,\zeta}) \cdot \eta_{eko} \quad (4.2)$$

$$\text{Enerji tasarrufu (ET)} = (Q_{bg} \cdot a) / \eta_k \quad (4.3)$$

$$\text{Tasarruf tutarı} = ET \cdot \text{Yakıtın birim fiyatı} \quad (4.4)$$

Burada;

Q_{bg} : Baca gazlarının ısı akımı (kW)

m_{bg} : Baca gazının kütleli debisi (kg/s)

C_p : Baca gazının sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg.K)

$T_{bg,g}$: Baca gazının ekonomizere giriş sıcaklığı (°C)

$T_{bg,\zeta}$: Baca gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığı (°C)

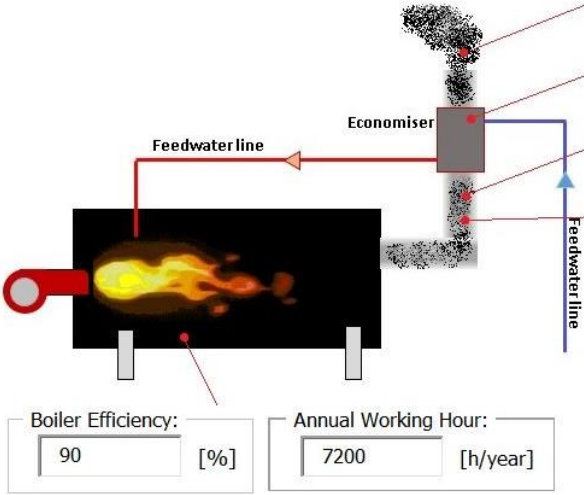
η_{eko} : Ekonomizerin ısı verimi

a : Ekonomizerin yıllık çalışma saati (h/yıl)

η_k : Kazanın verimi

Economizer Application in Boilers to Pre-Heat the Feedwater v.0

Economizer Application in Boilers to Pre-Heat the Feedwater



Input parameters:

- T_Outlet: 120 [°C]
- Economiser Efficiency : 98 [%]
- Mass flow rate: 0,175613 [kg/s]
- T_Inlet: 215 [°C]
- Boiler Efficiency: 90 [%]
- Annual Working Hour: 7200 [h/year]
- Amount of Investment: 50000 [Your Currency]
- Unit Price of Fuel: 1,5811 [Your Currency/Sm³]

Output results:

- Annual Fuel Save: 14031,3 [m³/year]
- Annual Financial Saving: 22184,9 [Your Currency/year]
- Simple Payback Period: 2,3 [year]

Buttons: << BACK to INDEX, THEORY, CALCULATE, CLEAR ALL

Şekil 4.9 Hesaplama yazılımında son kat 2. hat fırınının atık ısı geri kazanım hesapları

Şekil 4.9’da görüldüğü üzere baca gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığı olarak 120 °C alınmıştır. Baca gazı sıcaklığının daha düşük sıcaklıklara düşürülmesi durumunda yoğunlaşma meydana gelmekte, bu da bacada korozyona ve baca çekişinde önemli düşüşlere sebep olmaktadır.

Hava yakıt ayarı yapılarak yanma veriminin optimize edilmesi sonucu elde edilebilecek teorik enerji kazançları ise aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$\text{Tasarruf edilen enerji} = \text{Yıllık yakıt tüketimi} \times [1 - (\eta_{a,\text{ö}} / \eta_{a,s})] \quad (4.5)$$

$$\text{Tasarruf tutarı} = \text{Tasarruf edilen enerji} \times \text{Yakıtın birim fiyatı} \quad (4.6)$$

Burada;

$\eta_{a,\delta}$ = Hava-yakıt ayarı yapılmadan önce yanma verimi

$\eta_{a,s}$ = Hava-yakıt ayarı yapıldıktan sonra yanma verimi

Adjusting Air-Fuel Ratio in Burner v.0

Adjusting Air-Fuel Ratio in Burner

Suitable Values for Flue Gas Analysis			
Fuel Type	O ₂	CO ₂	Max Excess Air
Natural Gas	2,20%	10,50%	10%
Fuel Oil	4%	12,50%	20%

Annual Fuel Consumption:

314568

[Sm³/year]

Unit Price of Fuel:

1,58

[Your Currency/Sm³]

Combustion Efficiency Before Tuning:

88,81

[%]

Combustion Efficiency After Tuning:

88,90

[%]

Amount of Investment:

0

[Your Currency]

Amount of Fuel Saving:

318,5

[Sm³/year]

Annual Financial Saving:

503,2

[Your Currency/year]

Simple Payback Period:

0,0

[year]

* Each 20°C reduction in flue gas temperature, increases the boiler efficiency by 1%

<< BACK to INDEX

THEORY

CALCULATE

CLEAR ALL

Şekil 4.10 Son kat 2. hat fırınının yanma verimi optimizasyon hesabı

EKİPMAN	$T_{bg,g}$	$T_{bg,\zeta}$	C_p	Debi	Yoğunluk	Debi	a	Q_{bg}	Enerji Tasarrufu	Yakıtın Birim Fiyatı	Tasarruf Tutarı
	°C	°C	kJ/kg.K	m ³ /h	kg/m ³	kg/s	h/yıl	kW	kWh/yıl	TL/kWh	TL
Son kat 2. hat	215	120	1,101	868	0,728	0,176	7200	18,00	143.975	0,1486	21.397
Son kat 1. hat	175	120	1,090	941	0,799	0,209	7200	12,26	98.077	0,1486	14.576
Kataforez 1	265	120	1,113	1119	0,668	0,208	7200	32,86	262.871	0,1486	39.068
Kataforez 2	280	120	1,117	1255	0,643	0,224	7200	39,27	314.179	0,1486	46.693
TOPLAM											121.734

Şekil 4.11 Boyahane fırınları atık ısı geri kazanım hesapları

EKİPMAN	Uygulama Öncesi			Uygulama Sonrası			TASARRUF		
	O2	CO	Verim	O2	CO	Verim	Yıllık Doğalgaz Tüketimi	Enerji Tasarrufu	Tasarruf Tutarı
	%	ppm	%	%	ppm	%	sm ³ /yıl	sm ³ /yıl	TL/yıl
Son kat 2. hat	0	2000	88,81	2,68	0	88,90	314.568	318,46	503,58
Son kat 1. hat	3,25	0	90,12	2,23	0	90,53	312.912	1.417,14	2240,93
Kataforez 1	2,48	0	86,57	2,48	0	86,57	321.768	0	0
Kataforez 2	3,98	0	85,19	2,31	0	86,28	321.768	4.064,99	6427,96
TOPLAM								5.800,59	9.172,47

Şekil 4.12 Boyahane fırınları yanma verimi optimizasyon hesapları

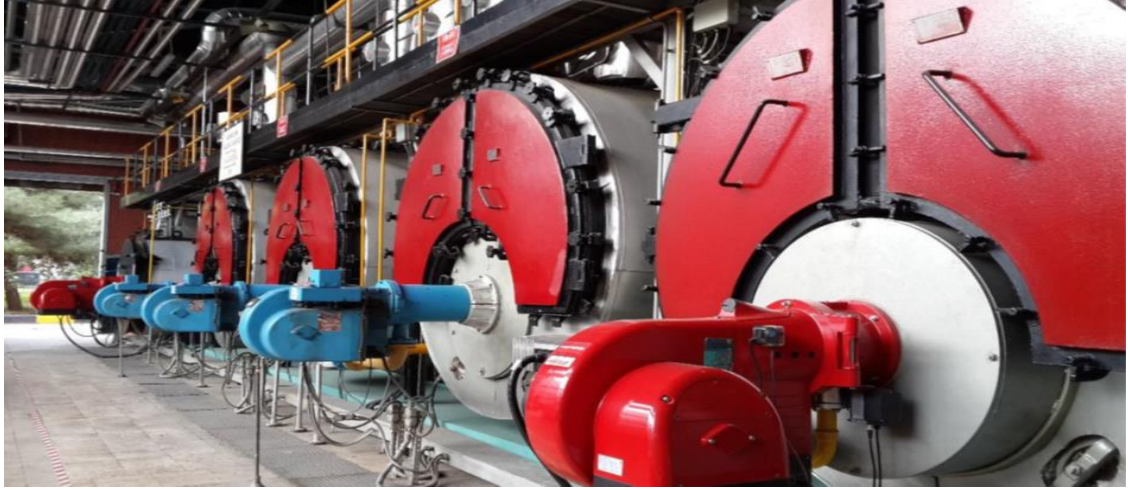
Sonuç olarak, kataforez 1, kataforez 2, son kat 1. hat ve son kat 2. hat fırınlarına eklenecek ekonomizer ile yüzey işlem banyoları için sıcak su eldesi sağlanabilir. Alternatif olarak yine bu fırınlara eklenecek reküperatör ile de bu fırınlarının yakma havasının ön ısıtılması sağlanarak fırınların doğalgaz tüketimlerinin azaltılması sağlanabilir. Yapılacak bir ısı geri kazanım uygulaması ile yıllık 819.102 kWh enerji tasarrufu ve bunun karşılığında 121.734 TL/yıl finansal kazanç elde edilecektir.

Fırın brülörlerinde yapılan hava-yakıt ayarı ile de yıllık 5801 sm³ doğalgaz kazancı sağlanmıştır. Bu tasarrufun finansal karşılığı 9.172 TL'dir. Tüm yakma sistemlerinde, baca gazı analizörleri ile bu ölçümü yılda en az 2 kere yapmak ve ölçüm sonuçlarına göre hava/yakıt oranını optimize etmek endüstriyel işletmelerde alışkanlık haline getirilmelidir.

4.4 Kızgın Su Kazanları

4.4.1 Sistem Tarifi

Arçelik fabrikasında 6 adet 3 milyon kcal/h kapasiteli kızgın su kazanı bulunmaktadır. Kızgın su kazanları, ortam ısıtmasında ve boyahanedeki yüzey işlem banyolarında kullanılmaktadır. Kazanlarda demineralize su kullanılmakta olup, suyun ısıtılma işlemi doğalgaz yakıtlı brülörler ile sağlanmaktadır. İşletme ısı ihtiyacının yıllar bazında düşmesi ve işletmede mevcut kojenerasyon tesisinin baca ve ceket ısısının değerlendirilmesi sayesinde, kışın en soğuk günlerde bile çoğunlukla iki adet kızgın su kazanın çalıştırılması yeterli olmaktadır. 1, 2 ve 6 no'lu kazanlarda oksijen trimli ve oransal kontrollü brülörler mevcuttur. Sürekli olarak kullanılan 2 no'lu kazanda ekonomizer de bulunmaktadır.



Şekil 4.13 İşletmede mevcut su kazanları

4.4.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

İşletmede sürekli olarak kullanılan 2 no'lu kazan ile soğuk günlerde ikinci ve yedek kazan olarak kullanılan 1 ve 6 no'lu kazanlarda atık ısı miktarını belirlemek amacıyla baca gazı debisi ve sıcaklıkları ölçülmüştür. Ayrıca brülörlerinin yanma verimliliğini incelemek amacıyla kazan bacalarından gaz analizleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6 Kızgın su kazanlarının ölçüm verileri

BACA GAZI ANALİZ DEĞERLERİ					
KAZANLAR	Sıcaklık	O ₂	CO ₂	CO	Debi
	°C	%	%	ppm	m ³ /h
1 No'lu Kızgın Su Kazanı	172	2,17	8,54	0	5.292,46
2 No'lu Kızgın Su Kazanı	92	2,79	8,2	0	3.125,11
6 No'lu Kızgın Su Kazanı	170	2,99	8,16	0	5.434,94

Çizelge 4.6'da görüleceği üzere 3 kazanda da oksijen trimli brülör olması sayesinde tam yanma gerçekleşmekte olup, baca gazındaki oksijen oranı ideal değerlerdedir. 2 no'lu kazan bacasındaki mevcut ekonomizer sayesinde baca gazı sıcaklığı 92 °C'ye kadar düşürülmüştür. Burada, bacanın paslanmaz malzemeden imal edilmiş olması sebebiyle baca gazındaki su buharının yoğuşma sıcaklığı olan 120°C'nin altına inilebilmiştir. 1 ve 6 no'lu kazanların baca gazı sıcaklık seviyeleri ise 170 °C mertebelerindedir ve bu

kazanların bacaları paslanmaz baca değildir. Bu 2 kazandan birinin yedek, diğerinin ise sadece kış mevsimlerinde ve çok kısa bir süre boyunca kullanıldıkları düşünüldüğünde, bu iki kazan için yapılacak bir ısı geri kazanım uygulaması ekonomik olarak anlamlı olmayacaktır.

4.5 Pompalar

4.5.1 Sistem Tarifi

Arçelik işletmesinde çeşitli kapasitelerde pompalar bulunmaktadır. İşletme enerji yönetim ekibinin tavsiyesi ile su soğutmalı bir chillerin sirkülasyon pompalarından ölçümler alınmıştır. Bu chillere ait 5 adet pompa bulunmaktadır. 1 ve 2 no'lu pompalar chillerin kondenser tarafı ile soğutma kulesi arasında su sirkülasyonunu sağlayan pompalardır. 3, 4 ve 5 no'lu pompalar ise chillerin evaporatör tarafından aldığı suyu fabrikaya basan pompalardır.



Şekil 4.14 Chiller su pompaları

4.5.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

Çalışma kapsamında enerji analizörü ve ultrasonik debimetre ile pompaların debi ve enerji tüketimleri ölçülmüştür. 3 ve 4 no'lu pompalar özdeş pompalar olup, ölçümleri birlikte alınmıştır. 1,2 ve 5 no'lu pompaların ölçümleri ise tekil olarak ayrı ayrı alınmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.7 Pompaların ölçüm verileri

EKİPMAN	MEVCUT DURUM			
	Debi	Basma Basıncı	Emme Basıncı	Birim Enerji Tüketimi
	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(kW)
1 No'lu Pompa	99	1,1	0,1	13,45
2 No'lu Pompa	36	1,1	0,1	4,52
3 ve 4 No'lu Pompalar	199,26	6	3,7	37,78
5 No'lu Pompa	132,5	5,6	3,7	18,68

Ölçüm verileri incelendiğinde fabrikaya su basan 3, 4 ve 5 no'lu pompaların debi, basma yüksekliği ve enerji tüketim değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

4.5.3 Hesaplamalar

Çizelge 4.7'deki ölçüm dataları ve hazırlanan hesaplama yazılımı kullanılarak sistem verimi hesaplanmıştır. Aşağıda örnek olması adına sadece 5 no'lu pompanın detay hesaplamalarına yer verilmiş olup, diğer pompaların kazanç çıktıları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

5 no'lu pompanın akışkan gücü ve pompa verimi aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$H = \frac{p}{\rho \times g} \quad (4.7)$$

$$\text{Akışkan gücü} = P_{\text{akışkan}} = \rho \times g \times H \times Q \quad (4.8)$$

$$\text{Mevcut pompa verimi} = P_{\text{akışkan}} / P_{\text{motor}} \quad (4.9)$$

Burada;

H: Basma yüksekliği (m)

P: Basınç (Pa) [1 bar= 10⁵ Pa]

ρ : Yoğunluk (kg/m³)

g: Yerçekimi ivmesi (m/s²)

Q: Debi (m³/s)

Pakışkan: Akışkan gücü(W)

Suitable Pump Selection v.0

Suitable Pump Selection

Measured Volumetric Flow Rate:	132,5	[m³/h]
Discharge Pressure:	5,6	[BAR]
Suction Pressure:	3,7	[BAR]
Electrical Power of Current System:	18,68	[kW]
Annual Working Hour of System:	6000	[h/year]
Unit Price of Electricity:	0,41	[Your Currency/kWh]
Hydraulic Power:	6,99	[kW]
Efficiency of Current Pump:	37,4	[%]
Electrical Power of New System:	11	[kW]
Investment Cost:	25000	[Your Currency]
Efficiency of New Pump:	63,5	[%]
Annual Energy Saving:	46080,0	[kWh/year]
Annual Financial Saving:	18892,8	[Your Currency]
Simple Payback Period:	1,3	[year]

<< BACK to INDEX

THEORY

CALCULATE

CLEAR ALL

Şekil 4.15 5 No'lu pompanın ihtiyaca uygun başka bir pompa ile değişim hesabı

Çizelge 4.8 İhtiyaca uygun pompa değişimleri ile elde edilecek tasarruf miktarı

EKİPMAN	Mevcut Durum			Pompa Değişim Sonrası	TASARRUF		
	Akışkan Gücü	Birim Enerji Tüketimi	Sistem Verimi	Birim Enerji Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	Tasarruf Tutarı
	kW	kW	%	kW	kW	kWh/yıl	TL/yıl
1 No'lu Pompa	2,75	13,45	20%	4,0	9,5	56.700	23.247
2 No'lu Pompa	1,00	4,52	22%	1,5	3,0	18.120	7.429
3 ve 4 No'lu Pompalar	12,73	37,78	34%	15,0	22,8	136.680	56.039
5 No'lu Pompa	6,99	18,68	37%	11,0	7,7	46.080	18.893
TOPLAM						257.580	105.608

Yapılan hesaplamalara göre mevcutta bulunan 5 adet sirkülasyon pompasının sistem verimlerinin çok düşük seviyede olduğu görülmüştür. Mevcut pompaların, sistem ihtiyacına göre seçilmiş ve optimum çalışma noktasında çalışacak pompalar ile değiştirilmesi ile yıllık 257.580 kWh elektrik tasarrufu ve bunun karşılığında 105.608 TL/yıl finansal kazanç elde edilecektir.

Sonuç olarak, pompa seçiminde alacağımız pompa kapasiteleri çok küçük de olsa verim konusuna dikkat edilmelidir. Pompalar debi ihtiyacı ve uygun basma yüksekliğine göre seçilmelidir. Büyük kapasiteli pompaların düşük kapasitelerde kullanılması durumunda, pompa verimsizliğinin yanında pompayı süren motorun da çalışma verimi düşük olacaktır.

4.6 Basınçlı Hava Sistemi

4.6.1 Sistem Tarifi

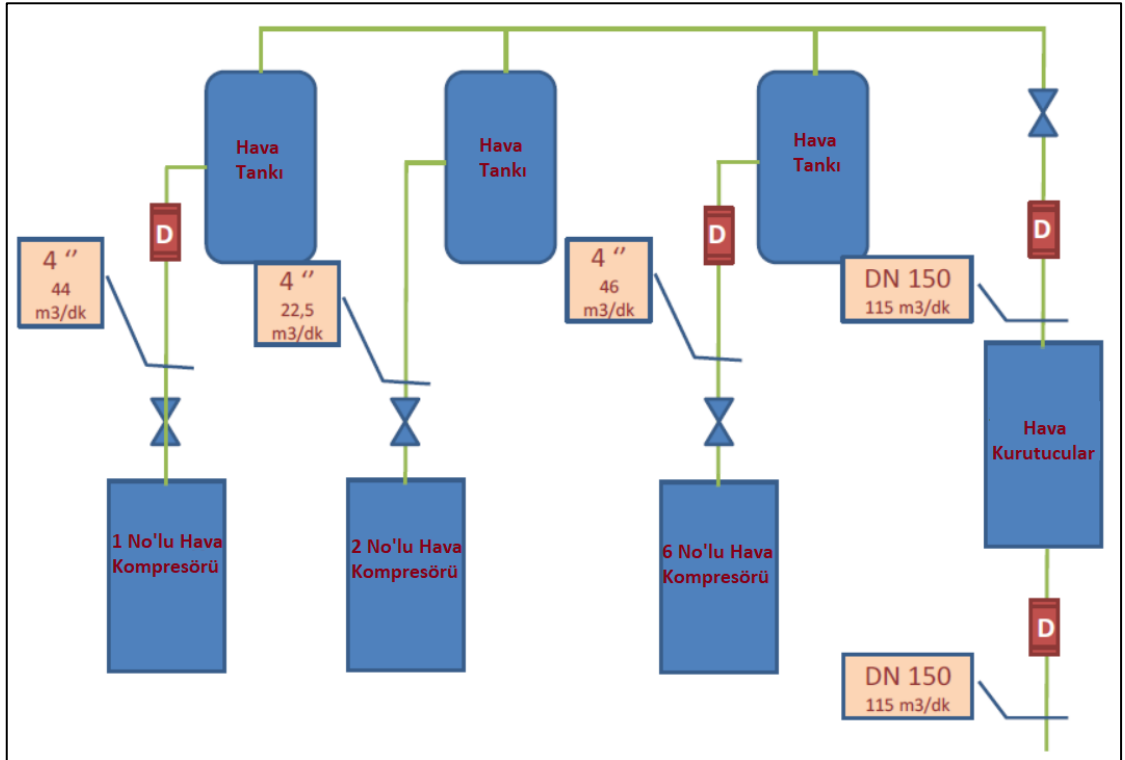
Arçelik işletmesi kompresör dairesinde toplam 6 adet vidalı hava kompresörü bulunmaktadır. Bu kompresörlerin 3'ü normal üretim günlerinde sürekli olarak kullanılmaktadır. Sürekli çalışan 1 ve 6 no'lu kompresörler VSD'li olup değişken debide; sürekli çalışan 2 no'lu hava kompresörü ise sabit debide çalıştırılmaktadır. Diğer 3 kompresör ise eski ve verimsiz kompresörler olup yedek olarak değerlendirilmektedir. Kompresörlerden çıkan basınçlı hava, hava tanklarından geçtikten sonra bir kolektörde toplanmakta, sonrasında ise hava kurutucularından geçerek tüketim noktalarına dağıtılmaktadır.

İşletmede mevcut kompresörlerin bilgileri Çizelge 4.9'da gösterilmiştir:

Çizelge 4.9 İşletmedeki kompresörlerin bilgileri

EKİPMAN	Kompresör Markası	Etiket Gücü	Birim Enerji Tüketimi
		kW	(kW)
1 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 250	250	247
2 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 1408	160	130
3 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 1408	160	Devrede Değil (Yedek)
4 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 1408	160	Devrede Değil (Yedek)
5 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 1408	160	Devrede Değil (Yedek)
6 No'lu Kompresör	Ingersoll Rand R225	225	125

İşletmede sürekli olarak kullanılan 3 kompresörün diğer sistem elemanları ile birlikte yerleşim şeması Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Basınçlı hava sistemi yerleşim şeması

4.6.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

Kompresörlerde ve basınçlı hava hatlarında enerji verimliliği kapsamında, fabrikada yapılan ölçümler elektriksel ve mekanik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Elektriksel ölçümler, kompresörleri tahrik eden elektrik motorlarından alınan ölçümleri kapsamaktadır. Mekanik ölçümler ise kompresörlerin basınç değerleri ve basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarının tespitini kapsamaktadır.

4.6.2.1 Kompresör Basınç Set Değerlerinin Düşürülmesi

Bölüm 3.2’de de anlatıldığı gibi basınçlı hava sistemlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri kompresör set basıncının gereğinden daha yüksek bir değere ayarlanmasıdır. Gereğinden yüksek basınçta hava üretimi, kompresörün fazladan enerji harcamasına ve doğrudan işletme maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Basit bir hesaplama, 7 bar çalışma basıncına göre dizayn edilmiş bir kompresörün basınç değerindeki her 150 milibarlık artış, enerji sarfiyatının %1 oranında artması anlamına gelmektedir.

Arçelik işletmesinde 2018 yılında başlatılan bir proje ile 6,4 bar seviyesinde olan kompresör set basınçları 0,1-0,2 barlık küçük azaltımlar ile kademeli olarak düşürülmüştür. Hedefimiz olan 5.0 bar’a ilerlerken üretim takımlarında basınç yetersizliği nedeniyle tezgahların arızaya geçtiği durumlar detaylı olarak analiz edilmiş, tesisat çaplarının yetersiz kalması nedeniyle yeterli debinin iletilemediği noktalarda revizyonlar yapılmıştır. Teorik olarak 6.0 barın altında çalışamayan tezgahlara basınç yükselticiler akuple edilerek, sadece bu ekipmanların çalışma koşulları sebebiyle tüm fabrikaya 6 barın üzerinde hava verilmesinin önüne geçilmiştir. Ring hattının bozulduğu noktalarda tesisat revizyonları ile sağlıklı çalışan ring hatları devreye alınmıştır. Bununla birlikte basınçlı hava kaçaklarının düzenli olarak takibi yapılarak, kaçak noktaları tamir edilmiştir. Sonuç olarak, 2018 başında başlatılan bu proje ile 2018 sonuna kadar kompresör set basınçlarında 5 bar mertebelerine düşüş sağlanmıştır.

Hazırlanan hesaplama yazılımı kullanılarak basınç azaltımı ile elde edilen kazanç hesaplanmıştır. Örnek olması adına sadece 1 no’lu kompresörün detay hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.10 1 No'lu kompresör bilgileri

EKİPMAN	Kompresör Markası	Etiket Gücü	Proje Sonrası Çalışma Basıncı	Proje Öncesi Çalışma Basıncı
		(kW)	(bar)	(bar)
1 No'lu Kompresör	Atlas Copco GA 250	250	6,4	5,0

Kompresörlerin set basınçlarının azaltılması ile elde edilen enerji kazancı aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir [Hepbaşlı, A.]:

$$\text{Güç Düşüş Faktörü (GDF)} = 1 - \frac{(P_{2,d} / P_1)^{(n-1)/n} - 1}{(P_2 / P_1)^{(n-1)/n} - 1} \quad (4.10)$$

$$\text{Tasarruf Tutarı} = (P \times YF \times a \times DF \times BF \times GDF) / \eta_{\text{elek}} \quad (4.11)$$

Burada;

P_1 : Kompresör hava giriş basıncı (bar)

P_2 : Kompresörün proje öncesi set basıncı (bar)

$P_{2,d}$: Kompresörün proje sonrasındaki set basıncı (bar)

n : Özgül ısı oranı (hava için 1,4 alınabilir)

P : Kompresör gücü (HP veya kW)

YF : Yük faktörü

a : Yıllık çalışma saati (h/yıl)

η_{elek} : Kompresör motor verimi

DF : Dönüşüm faktörü (0,7459 kW/HP)

BF : Elektrik enerjisi birim fiyatı (TL/kWh)

Decreasing Set Pressure of Compressors v0

Decreasing Set Pressure of Compressors

Current Outlet Pressure:	6,4	[BAR]
Reduced Outlet Pressure:	5	[BAR]
Compressor Power:	250	kW
Average Partial Load Factor:	98	calculate ?
Efficiency of Motor:	90	[%]
Annual Working Hour of Compressor:	7200	[h/year]
Amount of Investment:	40000	[Your Currency]
Unit Price of Electric:	0,41	[Your Currency/kWh]
Power Decrease Factor:	0,1663294187	
Annual Financial Return:	133662,3	[Your Currency/year]
Simple Payback Period:	0,3	[year]

<< BACK to INDEX
THEORY
CALCULATE
CLEAR ALL

Şekil 4.17 1 No'lu kompresörün set basıncının azaltılması ile elde edilen enerji kazancı

Şekil 4,17'de görüldüğü gibi sadece 250 kW gücündeki 1 No'lu kompresin basınç set değerinin 6,4 bardan 5 bara düşürülmesi ile yıllık yaklaşık 133.000 TL'lik bir kazanç sağlanmaktadır. 2 ve 6 No'lu kompresörlerle birlikte toplam finansal kazanç yıllık 250.000 TL'ye ulaşmaktadır.

4.6.2.2 Kompresör Emiş Havaasının Dış Ortamdan Alınması

Çalışma prensipleri gereği kompresörler ve hava kurutucuları bir ısı kaynağı gibi bulundukları ortama ısı yayarlar. Kompresörler genel olarak kapalı odalarda çalıştığından ve bulundukları ortamdan emiş yaptıklarından, çoğunlukla dış ortama göre daha sıcak havayı emip sıkıştırmaya çalışırlar. Teorik olarak sıcaklığın düşmesi ile yoğunluk artacağından, daha az güç ile daha fazla hava sıkıştırma imkânı doğmaktadır. Dolayısı ile

kompresörlerin mümkün olduğunca emiş havasını bir kanal yardımıyla dış ortamdan almaları gerekmektedir.

Arçelik işletmesinde sadece 1 no'lu kompresör emiş havasını dış ortamdan alınırken sürekli çalışan 2 ve 6 no'lu kompresörlerin emişi kompresör dairesinden yapılmaktadır.

Hazırlanan hesaplama yazılımı kullanılarak kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması ile elde edilen kazanç hesaplanmıştır. Örnek olması adına aşağıda sadece 6 no'lu kompresörün detay hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

İşletmenin bulunduğu bölgedeki aylık minimum, maksimum ve ortalama hava sıcaklıkları Şekil 4.18'de gösterilmiş olup, yıllık ortalama sıcaklığı 14,4 °C'dir. Kompresör dairesinin iç ortam sıcaklığı ise yıllık ortalama 19 °C olarak tespit edilmiştir.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,1	6,6	8,0	12,2	16,5	20,9	23,0	22,9	19,9	15,7	12,0	8,5
Minimum Sıcaklık (°C)	2,7	3,1	4,0	7,7	11,7	15,6	17,7	17,8	15,0	11,5	8,2	5,1
Maksimum Sıcaklık (°C)	9,6	10,2	12,0	16,8	21,4	26,2	28,4	28,4	24,9	20,0	15,9	12,0

Şekil 4.18 Arçelik işletmesinin bulunduğu bölgede aylık bazda sıcaklık verileri

Kompresör emiş hava sıcaklığının değişiminden dolayı kompresör işindeki azalma ve enerji kazancı aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir [Hepbaşlı, A.]:

$$KKA = (\dot{I}HS - DHS) / (273 + \dot{I}HS) \quad (4.12)$$

$$Tasarruf \ Tutarı = (P / \eta_m) \times YF \times a \times DB \times BF \times KKA \quad (4.13)$$

Burada;

KKA: Kompresör gücünün kesirsel azalması

$\dot{I}HS$: Yıllık ortalama iç hava sıcaklığı (°C)

DHS: Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı (°C)

P: Kompresör gücü (HP veya kW)

η_m : Kompresör motor verimi (%)

YF: Ortalama kısmı yük faktörü

a: Yıllık çalışma saati (h/yıl)

DF: Dönüşüm faktörü (0,7459 kW/HP)

BF: Elektrik enerjisi birim fiyatı (TL/kWh)

Decreasing Intake Air Temperature of Compressor v.0

Decreasing Intake Air Temperature of Compressor

Average Annual Inside Air	19	[°C]
Average Annual Outside Air	14,4	[°C]
Compressor Power:	250	kW
Average Partial Load Factor:	56	calculate ?
Efficiency of Compressor Motor:	90	[%]
Annual Working Hour of Compressor:	7200	[h/year]
Amount of Investment:	10000	[Your Currency]
Unit Price of Electricity:	0,41	[Your Currency/kWh]
Annual Financial Return:	7230,3	[Your Currency/year]
Simple Payback Period:	1,4	[year]

<< BACK to INDEX THEORY CALCULATE CLEAR ALL

Şekil 4.19 6 No'lu kompresörün emiş havasının dış ortamdan alınmasıyla sağlanan enerji kazancı

Hesap tablosunda da görüldüğü gibi sadece 6 No'lu kompresin bir kanal yardımıyla emiş havasının dış ortamdan alınması ile yıllık yaklaşık 7200 TL'lik bir kazanç sağlanmaktadır. Projenin geri ödeme süresi 1,4 yıldır. Aynı proje 2 No'lu kompresöre de uygulandığında toplam finansal kazanç yıllık 14.000 TL'ye ulaşmaktadır.

4.7 Elektrik Motorları

4.7.1 Sistem Tarifi

Arçelik işletmesinde çok çeşitli kapasitelerde ve farklı verim sınıflarına sahip elektrik motorları bulunmaktadır. Bu motorlar pompa, fan, kompresör, konveyör, vinç gibi çok çeşitli alanlarda, sabit devir veya değişken devir gibi farklı özelliklerde kullanılmaktadır.

Örnek bir uygulama olarak işletmede 5,5 kW ve üzeri tüm elektrik motorlarının etiket bilgileri (güç, verim sınıfı, kutup sayısı) ve çalışma saatlerinin bir envanteri çıkarılmıştır. Hazırlanan bu envanter üzerinden, motorların IE3 ve IE4 verim sınıfına ait motorlarla değiştirilmesi durumunda basit geri ödeme süresi hesabı yapılmış ve geri ödeme süresi en kısa olan motorlardan başlanarak işletmede hızlı bir enerji verimli motor dönüşümü çalışması başlatılmıştır. Mevcut durumda envanteri çıkarılan 80 motorun 60'ının IE3 ve IE4 sınıfı motorlarla dönüşümü tamamlanmıştır. Motor dönüşümü sonrası işletmedeki motor envanterinin son durumu Ek-A'da gösterilmiştir.

4.7.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

Çalışma kapsamında fabrikadaki IE1 ve IE2 sınıfı motorlara odaklanılmış; bu motorların çekmiş oldukları güçler enerji analizörü ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.11'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11 IE1 ve IE2 verimlilik sınıfına sahip motorların ölçüm değerleri

Motor Adı	Motor Gücü [kW]	Çalışma Anında Çektileri Güç [kW]	Verimlilik Sınıfı	Eski Verim Değeri [%]	Yeni Verim Değeri [%]
1600-4 Tezgâh Pompa Motoru	75	74,6	IE1	92,7	95
Kataforez Üflemler Fan Motoru 1	5,5	4,8	IE1	84,7	89,6
Kataforez Üflemler Fan Motoru 2	5,5	4,9	IE1	84,7	89,6
Sarı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	15	15	IE1	88,7	92,1
Kırmızı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	15	14,9	IE1	88,7	92,1
Kırmızı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	30	22,8	IE1	90,7	93,6
Sarı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	30	25,1	IE2	92,3	93,6
Son DI Banyosu 2	11	11,2	IE2	89,8	91,4
1. Yağ Alma Banyosu	22	22,4	IE2	91,6	93

Çizelge 4.11 IE1 ve IE2 verimlilik sınıfına sahip motorların ölçüm değerleri (Devamı)

Motor Adı	Motor Gücü [kW]	Çalışma Anında Çektrikleri Güç [kW]	Verimlilik Sınıfı	Eski Verim Değeri [%]	Yeni Verim Değeri [%]
Gövde Hattı 1-Motor 1	30	30,2	IE2	92,3	93,6
Gövde Hattı 1-Motor 2	75	74,8	IE2	94	95
Gövde Hattı 2-Motor 1	75	74,7	IE2	94	95
Gövde Hattı 2-Motor 2	22	22,1	IE2	91,6	93
Gövde Hattı 2-Motor 3	55	53,4	IE2	93,5	94,6
Gövde Hattı 2-Motor 4	37	32,1	IE1	91,2	93,9
Gövde Hattı 4-Motor 1	55	54,8	IE2	93,5	94,6
Gövde Hattı 4-Motor 2	55	54,9	IE2	93,5	94,6
Gövde Hattı 4-Motor 3	75	72,4	IE2	94	95
Gövde Hattı 4-Motor 4	75	75,8	IE2	94	95
Gövde Hattı 4-Motor 5	75	69,4	IE2	94	95

4.7.3 Hesaplamalar

Çizelge 4.11'deki ölçüm dataları ve hazırlanan hesaplama yazılımı kullanılarak verimsiz motorların IE3 verim sınıfına ait motorlarla değiştirilmesi ile elde edilen enerji kazancı hesaplanmıştır. Tespit edilen motorlar sürekli 3 vardiya çalıştığı için yıllık çalışma süresi 7000 saat alınmıştır. Aşağıda örnek olması adına sadece 1600 tonluk tezgâhın 75 kW'lık IE1 motorunun IE3 motor ile değiştirilmesi kapsamında detay hesaplamalarına yer verilmiş olup, diğer motorların kazanç çıktıları Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

Verimsiz bir motorun enerji verimli motor ile değiştirilmesi ile elde edilen enerji kazancı aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$T = P_n \cdot a \cdot YF \cdot BF \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{eski}}} - \frac{1}{\eta_{\text{yeni}}} \right) \quad (4.14)$$

Burada;

T: Yıllık toplam tasarruf (TL)

P_n : Motorun çektiği güç (kW)

a: Yıllık toplam çalışma saati (h)

YF: Motorun yüklenme oranı (%80 ise 0,8 alınacaktır)

BF: Elektrik enerjisinin birim fiyatı (TL/ kWh)

η_{eski} : Motorun mevcut verim değeri (%) (%85 ise 0,85 alınacaktır)

η_{yeni} : Motorun yeni verim değeri (%) (%90 ise 0,90 alınacaktır)

Energy Efficient Motor Applications v0

Energy Efficient Motor Applications

Average Electric Motor Power:

74,6

kW

Annual Working Hour:

7000

[h/year]

Load Factor:

70

[%]

Efficiency of Standart Motor:

92,7

[%]

Efficiency of High Efficient Motor:

95

[%]

Unit Price of Electricity:

0,41

[Your Currency/kWh]

Amount of Investment:

12000

[Your Currency]

Amount of Saved Energy:

9546,8

[kWh/year]

Annual Financial Saving:

3914,2

[Your Currency/year]

Simple Payback Period:

3,07

[year]

<< BACK to INDEX

THEORY

CALCULATE

CLEAR ALL

Şekil 4.20 75 kW'lık bir IE1 motorun IE3 motor ile değiştirilmesi ile elde edilen kazanç

Motor Adı	Motor Gücü [kW]	Çalışma Anında Çektikleri Güç [kW]	Verimlilik Sınıfı	Eski Verim Değeri [%]	Yeni Verim Değeri [%]	Çalışma Süresi [saat/yıl]	Yük Faktörü [%]	Elektrik Birim Fiyatı [TL/kWh]	Yıllık Tasarruf Tutarı [TL/yıl]	Yatırım Tutarı [TL]	Geri Ödeme Süresi [Yıl]
1600-4 Tezgâh Pompa Motoru	75	74,6	IE1	92,7	95	7000	70	0,41	3914	12000	3,07
Kataforez Üflemeler Fan Motoru 1	5,5	4,8	IE1	84,7	89,6	7000	70	0,41	623	1200	1,93
Kataforez Üflemeler Fan Motoru 2	5,5	4,9	IE1	84,7	89,6	7000	70	0,41	636	1450	2,28
Sarı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	15	15	IE1	88,7	92,1	7000	70	0,41	1254	2400	1,91
Kırmızı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	15	14,9	IE1	88,7	92,1	7000	70	0,41	1246	2400	1,93
Kırmızı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	30	22,8	IE1	90,7	93,6	7000	70	0,41	1565	4200	2,68
Sarı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	30	25,1	IE2	92,3	93,6	7000	70	0,41	759	4200	5,54
Son DI Banyosu 2	11	11,2	IE2	89,8	91,4	7000	70	0,41	439	2000	4,56
1. Yağ Alma Banyosu	22	22,4	IE2	91,6	93	7000	70	0,41	740	3400	4,60
Gövde Hattı 1-Motor 1	30	30,2	IE2	92,3	93,6	7000	70	0,41	913	4200	4,60
Gövde Hattı 1-Motor 2	75	74,8	IE2	94	95	7000	70	0,41	1683	12000	7,13
Gövde Hattı 2-Motor 1	75	74,7	IE2	94	95	7000	70	0,41	1681	12000	7,14
Gövde Hattı 2-Motor 2	22	22,1	IE2	91,6	93	7000	70	0,41	730	3400	4,66
Gövde Hattı 2-Motor 3	55	53,4	IE2	93,5	94,6	7000	70	0,41	1334	9000	6,75
Gövde Hattı 2-Motor 4	37	32,1	IE1	91,2	93,9	7000	70	0,41	2033	5500	2,71
Gövde Hattı 4-Motor 1	55	54,8	IE2	93,5	94,6	7000	70	0,41	1369	9000	6,57
Gövde Hattı 4-Motor 2	55	54,9	IE2	93,5	94,6	7000	70	0,41	1372	9000	6,56
Gövde Hattı 4-Motor 3	75	72,4	IE2	94	95	7000	70	0,41	1629	12000	7,37
Gövde Hattı 4-Motor 4	75	75,8	IE2	94	95	7000	70	0,41	1705	12000	7,04
Gövde Hattı 4-Motor 5	75	69,4	IE2	94	95	7000	70	0,41	1561	12000	7,69
TOPLAM									27.184	133.350	4,91

Şekil 4.21 Enerji verimli motor değişimleri ile elde edilecek tasarruf miktarı

Yapılan hesaplara göre henüz değişimi yapılmamış 20 adet motorun IE3 sınıfı verimli motorlar ile değiştirilmesi ile yıllık 27.184 TL kazanç sağlanacaktır. Ancak bunun karşılığında yapılacak yatırım miktarı yaklaşık 133.000 TL'dir. Projenin geri ödeme süresi 4,91 yıldır.

Motor detayında incelendiğinde özellikle IE2 enerji sınıfına sahip motorların IE3 motorlar ile değiştirildiğinde geri ödeme süresinin 4,5 yıl ve üzeri olduğu görölmektedir. Ancak IE1 sınıfı motorların IE3 motorlarla değiştirilmesinde geri ödeme süresi ortalama 2,59 yıldır. Dolayısı ile motor dönüşümüne öncelikli olarak geri ödeme süresi 2 yılın altında olan motorlardan başlanarak IE1 sınıfı motorların tamamının değiştirilmesi gerekmektedir. IE2 sınıfı motorların IE3 motorlarla değiştirilmesi mevcut durumda ekonomik olarak çok anlamlı değildir.

4.8 Aydınlatma

4.8.1 Sistem Tarifi

Arçelik işletmesinin farklı bölgelerinde farklı tip ve güçte aydınlatma armatürleri kullanılmaktadır. Proje kapsamında bu armatürlerin enerji verimli LED armatürler ile değiştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında iç aydınlatmada kullanılan 700 adet 4 x 18 W'lık armatürler yerine 40 W gücündeki LED armatür; dış aydınlatmada kullanılan 6 adet 250W'lık civa buharlı armatürlerin yerine de 56 W'lık armatür uygulaması planlanmıştır.

Çizelge 4.12 Mevcut aydınlatma armatürlerinin bilgileri

Mevcut Armatür Tipi	Mevcut Armatürlerin Etiket Gücü [W]	LED Armatürlerin Etiket Gücü [W]	Armatür Sayısı
Floresan	72	40	700
Civa Buharlı	250	56	63

4.8.2 Yapılan Ölçümler ve Ölçüm Değerleri

Proje ile mevcut verimsiz armatürlerin yerine aynı sayıda LED armatür uygulanarak enerji tüketiminin düşürülmesi ve aynı zamanda aydınlatma şiddetinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Aydınlatma şiddetinde ne kadarlık bir iyileşme olacağı, lambaların birim enerji başına (W) üretmiş oldukları ışık akılarının(lümen) karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Buna göre;

Mevcutta bulunan 18W'lık floresan ampullerin;

- Lümen değeri: 1350 Lümen,
- Verimi: $1350/8 = 75$ Lümen/Watt,

Mevcutta bulunan 250W'lık civa buharlı ampullerin;

- Lümen değeri: 12700 Lümen,
- Verimi: $12700/250 = 50,8$ Lümen/Watt,

Yeni alınan 40W Flat Led ampüllerin;

- Lümen değeri: 3799,8 Lümen,
- Verimi: $3799,8/40 = 95$ Lümen/Watt,

Yeni alınan 56W Led ampüllerin;

- Lümen değeri: 5700 Lümen,
- Verimi: $5700/56 = 102$ Lümen/Watt,

Sonuç olarak proje ile sadece enerji verimliliği sağlanmamış aynı zamanda iç aydınlatma şiddetinde yaklaşık 1,5 kat; dış aydınlatma şiddetinde 2 kat iyileşme sağlanmıştır.

Proje ile sağlanan enerji kazancının belirlenmesi için de mevcut armatürlerin çekmiş oldukları güçler enerji analizörü ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.13'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.13 Mevcut aydınlatma armatürlerinin elektriksel ölçüm bilgileri

Mevcut Armatür Tipi	Mevcut Armatürlerin Etiket Gücü [W]	LED Armatürlerin Etiket Gücü [W]	Armatür Sayısı
Floresan	72	40	700
Civa Buharlı	250	56	63

4.8.3 Hesaplamalar

Çizelge 4.13'deki ölçüm dataları ve hazırlanan hesaplama programı kullanılarak verimsiz aydınlatma armatürlerinin LED armatürlerle değiştirilmesi ile elde edilen enerji kazancı hesaplanmıştır. İç ortam aydınlatmaları yılda 4800 saat (16 saat/gün x 300 gün/yıl); dış mekân aydınlatmaları ise yılda 4380 saat (12 saat/gün x 365 gün/yıl) çalışmaktadır. Örnek olması adına sadece 4x18 W'lık floresan armatürlerin 40 W'lık LED armatür ile değiştirilmesi kapsamında detay hesaplamalar aşağıdaki gösterilmiş olup, dış ortam aydınlatmasının kazanç çıktıları Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

Efficient Lighting System Transformation v0

Efficient Lighting System Transformation

Quantity of Lighting Fixtures in Current Design: [Pcs]

Installed Power of Each Fixture in Current Design: [W]

Quantity of Lighting Fixtures in New Design: [Pcs]

Installed Power of Each Fixture in New Design: [W]

Annual Working Hour of System: [h/year]

Unit Price of Electricity: [Your Currency/kWh]

Investment Cost: [Your Currency]

Annual Energy Saving: [kWh/year]

Annual Financial Saving: [Your Currency]

Simple Payback Period: [year]

Şekil 4.22 Floresan armatürlerin LED armatürler ile değiştirilmesi ile elde edilen kazanç

Çizelge 4.14 Mevcut armatürlerin LED armatürlerle değiştirilmesi ile elde edilen kazanç

Mevcut Armatür Tipi	Mevcut Lambaların Çektiği Güç [W]	Yeni Alınacak Lambaların Gücü [W]	Armatür Sayısı (adet)	Yıllık Çalışma Saati (h)	Elektrik Birim Fiyat (TL/kWh)	Yıllık Enerji Kazancı (kWh/yıl)	Yıllık Tasarruf Tutarı (TL/yıl)
Floresan	75	40	700	4800	0,41	117.600	48.216
Civa Buharlı	170	56	63	4380	0,41	31.457	12.897
TOPLAM						149.057	61.113

Sonuç olarak Arçelik işletmesindeki 700 adet iç aydınlatma armatürü ve 63 adet dış aydınlatma armatürünün enerji verimli LED armatürler ile değiştirilmesi ile yıllık 149.057 kWh elektrik kazancı ve bunun karşılığında 61.113 TL yıllık kazanç sağlanmıştır. Buna ek olarak mevcut ışık şiddeti artırılarak gerek iş sağlığı güvenliği açısından gerekse çalışan performansı anlamında iyileşme sağlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel toplam nihai enerji kullanımının yaklaşık %31,7'sinden sorumlu olan sanayi sektörü, nihai enerji tüketimi içinde en yüksek paya sahip olan sektörlerden biridir. Türkiye’de de nihai enerji tüketiminde en yüksek pay %32’lik oran ile sanayiye aittir. Enerji maliyeti, bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyetinin %55’ine kadar çıkabilmektedir. Özellikle enerji yoğun sektörlerde yapılacak çok küçük bir enerji verimliliği projesi bile doğrudan ve dolaylı olarak çok büyük kazançlar sağlayabilmekte ve kendini çok kısa bir sürede geri ödeyebilmektedir. Dolayısı ile sanayi kuruluşlarının hem üretim maliyetlerini azaltmak hem çevreye olan etkilerini minimize etmek hem de günümüz rekabet koşullarında avantaj elde etmek için, üretimde enerji verimliliğini sürekli ön planda tutmaları gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında dayanıklı tüketim ve tüketici elektroniği sektöründe faaliyet gösteren Arçelik’in, yıllık ortalama 8000 TEP enerji tüketimi olan bir işletmesinde enerji etüdü yapılmıştır. Etüt kapsamında işletmenin enerji performansındaki değişimi incelemek ve özellikle üretimle ilgisi olmayan sabit enerji tüketimlerini görebilmek için regresyon analizleri yapılmış, kümülatif toplam değerler (CUSUM) grafikleri çizdirilmiş, enerji yoğun prosesler belirlenmiş ve buralarda detay ölçümler yapılarak enerji tasarruf potansiyelleri belirlenmiştir. Enerji verimliliği projelerinin fizibilite hesapları yine bu çalışma kapsamında hazırlanan hesaplama yazılımı üzerinden yapılarak sonuçlar paylaşılmıştır.

Bu hesaplama programı Arçelik işletmelerinde sıkça uygulanan 45 farklı enerji verimliliği projesinin kazanç hesaplarının, kolay ve hızlı bir şekilde teorisine uygun olarak yapılmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak Arçelik işletmelerinde gerçekleştirilen enerji

verimliliği projelerinin enerji ve finansal kazançlarının hesabında standardizasyon sağlanmıştır. Bundan sonraki süreçte programa yeni projeler de eklenerek programın geliştirilmesi ve sürekli canlı tutulması hedeflenmektedir.

Elektrik için yapılan regresyon analizinin sonuçları incelendiğinde üretimin sıfır olduğu durumda bile işletmenin 2016 yılında yaklaşık 1,2 milyon kWh; 2017 yılında yaklaşık 1,4 milyon kWh ve 2018 yılında yaklaşık 907 bin kWh elektrik tükettiği görülmektedir. Sabit enerji tüketimleri 2017 yılında ciddi bir artış göstermesine rağmen alınan tedbirlerle 2018 yılında düşürülmüştür. İşletmenin 2018 yılı sabit elektrik tüketimi, aylık ortalama elektrik tüketiminin %28,81'ine eşittir. Doğalgaz tüketimi için, üretim adedi ve ısıtma gün sayısı üzerinden iki değişkenli bir regresyon analizi yapıldığında, işletmenin sabit doğalgaz tüketiminin aylık ortalama doğalgaz tüketiminin %6,48'ini oluşturduğu görülmüştür. Sonuç olarak özellikle elektrik tüketimi tarafından sabit enerji tüketimini azaltmaya yönelik yapılacak çalışmalar ile ciddi tasarruflar elde edilebileceği görülmektedir.

İşletmede mevcut ve aktif olarak kullanılan boyahane fırınları, kızgın su kazanları, su soğutmalı bir chillere ait 5 adet pompa, basınçlı hava sistemi, elektrik motorları ve aydınlatma armatürleri üzerinden alınan ölçümler ve hesaplama programı üzerinden yapılan tasarruf hesaplarına göre yıllık 1.981.010 kWh enerji tasarruf potansiyeli ve bunun karşılığında 581.984 TL yıllık finansal kazanç potansiyeli tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1 Genel etüt bulguları

Proje Adı	Enerji Tasarrufu	Tasarruf Tutarı
	kWh/yıl	TL
Boyahane fırınları atık ısı geri kazanımı	819.102	121.734
Boyahane fırınları yanma verimi optimizasyonu	61.718	9.172
İhtiyaca uygun pompa değişimi	257.580	105.608
Kompresör basınç set değerlerinin düşürülmesi	609.756	250.000
Kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması	17.495	7.173
Enerji verimli motor değişimleri	66.302	27.184
LED aydınlatma dönüşümü	149.057	61.113
TOPLAM	1.981.010	581.984

Türkiye'nin gelişmişliğin göstergesi olan enerji tüketimi yüksek, enerji yoğunluğu düşük ülkeler arasına girebilmesi, hızla artan enerji talebini ve cari açığı azaltabilmesi, enerji arz güvenliğini sağlayabilmesi için enerji verimliliğini bir yaşam biçimi haline getirmesi, başta sanayi olmak üzere tüm alanlarda yüksek enerji verimliliği potansiyelini değerlendirmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2017). Dünya ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü Raporu, Ankara.
- [2] Ünlü, O., (2009). Sanayide Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Önemi ve Buhar Sistemleri ile İlgili Uygulama Örnekleri
- [3] Ning, Z. and Jong-Dae, K., (2014). "Measuring sustainability by energy efficiency analysis for Korean power companies: a sequential slacks-based efficiency measure", Sustainability, 6 (2): 1414-1426.
- [4] Söğüt, Z., & Oktay, Z. (2006). Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10, 151-162.
- [5] Acar, E., (2012). Enerji Yoğunluklu Bir Fabrikanın Enerji Verimliliği Özelinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [6] Onaygil, S., (2011) “Enerji Verimliliği Çalışmalarında Aydınlatmanın Yeri”, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, 23 Haziran 2011, s. 3.
- [7] Kavak, K., (2005). Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No: DPT-2689, Eylül 2005, s.9.
- [8] YEGM, (2018). Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu, s.13., Ankara.
- [9] IEA, (2016). Energy Policy of IEA Countries: Turkey 2016 Review, s.47.
- [10] BP, (2018). Statistical Review of World Energy 2018, s.8.
- [11] IEA, (2018). Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlooks to 2040.
- [12] IEA, (2018). World Energy Outlook 2018, <https://www.iea.org/weo2018/> , (Erişim Tarihi:14.02.2019)
- [13] Gudbjerg, E., Dyhr-Mikkelsen, K. ve Andersen, C. M., (2014). “Spreading the word – an online non-energy benefit tool”, European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE).
- [14] T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Kanunu, (5627), 2 Mayıs 2007.

- [15] T.C. Resmi Gazete, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına İlişkin Yönetmelik, (28097), 27.10.2011.
- [16] T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, (27075), 05.12.2018.
- [17] T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023, (28215), 25.02.2012.
- [18] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2018). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Ankara.
- [19] IEA, Key World Energy Statistics, <https://www.iea.org/statistics/kwes/balances/> , (Erişim Tarihi:14.01.2019)
- [20] TÜİK, Enerji İstatistikleri, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029 , (Erişim Tarihi: 05.01.2019)
- [21] TEVEM, (2010). Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Ekonomiye Geçiş”, Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi.
- [22] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (2012). Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu, Yayın No. 589, Ankara, s.84.
- [23] Dünya Bankası, (2013). Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak, s.4.
- [24] U.S. DoE, (2003). Compressed Air Challenge. Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry.
- [25] Carbon Trust, (2005). Energy Efficient Compressed Air Systems, p. 1, February 2005, UK.
- [26] Kaya D, Phelan P, Chau D, and Sarac H.I, 2002. “Energy Conservation in Compressed-air Systems”, International Journal of Energy Research, 26: 837-849.
- [27] Kanoğlu, M., Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, <http://www.pw.com.tr/ss/upload/upload2263.pdf> , (Erişim Tarihi: 30.01.2019)
- [28] Karataş M. A., (2012). “Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basınçlı Hava Denetleme Çalışması”, Tesisat Mühendisliği, Sayı 132, Kasım/Aralık.
- [29] Atlas Copco Airpower NV, (2003). Compressed Air Manual, 7th ed., Wilrijk.
- [30] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Basınçlı Hava Sistemleri, <http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/document/Basincli%20Hava%20Sistemleri.pdf> , (Erişim Tarihi: 20.01.2019)
- [31] Çubuk, H. (2007). Isı Üretim ve Dağıtım Sistemlerinde Enerji Yönetimi, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Eğitim Notları.
- [32] Hızıroğlu, S., (2007). “Yakma yönetim ve brülör kontrol sistemleri”, Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 51: 20-24.
- [33] Bulut, H., (2011). Buhar kazanları ders notları,

- <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/buhar.pdf> , (Erişim tarihi: 28.01.2019)
- [34] Verimlilik Genel M¼d¼rl¼ę¼, Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği, http://www.temizuretim.gov.tr/Files/ElektrikMotorlar_brosur.pdf , (Erişim Tarihi: 30.01.2019)
- [35] Verimlilik Genel M¼d¼rl¼ę¼, İmalat Sanayisinde Kullanılan Elektrik Motorları Envanteri Analiz Raporu, <http://www.temizuretim.gov.tr/Files/Envanter%20Raporu.pdf> , (Erişim Tarihi: 30.01.2019)
- [36] Onaygil, S., (2001). “Kent İçi Aydınlatma”, Kaynak Elektrik Dergisi, Haziran 2001.
- [37] Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak¼ltesi Elektrik M¼hendislięi B¼l¼m¼, (2014). Aydınlatma Ve İç Tesisat Laboratuvarı alışma Notları, s.18.
- [38] olak, N., (2003). “Aydınlatma Kontrol¼ ve Faydaları”, Best Dergisi, Sayı 19, Ocak 2003.
- [39] Perdahçı C. ve Hanlı U., (2010). “Verimli Aydınlatma Y¼ntemleri”, 3E Electrotech, Mart 2010.
- [40] İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, Tesisatlarda Isı Yalıtımı, https://www.izoder.org.tr/dosyalar/tesisat_yalitimi.pdf , (Erişim Tarihi: 30.02.2019)
- [41] Diz, Timur., (2009). “Tesisatlarda Enerji Verimliliği ve Isı Yalıtımı, T¼rk Sanayisinde Enerji Verimliliği Semineri”, Mart 2009.
- [42] Hepbaşlı, A., (2010). Enerji Verimliliği ve Y¼netim Sistemi: Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Esen Ofset, İstanbul, s.719.
- [43] S¼ę¼t Z., ve Oktay Z., (2016). “Sanayi Sekt¼r¼nde Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama”, D¼ml¼pınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼ Dergisi, Mayıs 2016.
- [44] Bilgin A., Kazanlarda Baca Gazı Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi, V. Ulusal Tesisat M¼hendislięi Kongresi ve Sergisi, 617-622.
- [45] T¼rkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, Ödemeler Dengesi ve İlgili İstatistikler, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatiistikler/Odemeler+Dengesi+ve+Ilgili+Istatistikler> , (Erişim Tarihi: 10.01.2019)
- [46] Enerji İşleri Genel M¼d¼rl¼ę¼, Enerji Denge Tabloları, Denge Tablosu 2017, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari> , (Erişim Tarihi: 10.01.2019)

ELEKTRİK MOTORLARI ENVANTER ÇİZELGESİ

Motor Adı	Durum	Güç	Birim	Kutup Sayısı	Verimlilik Sınıfı	Verim Değeri [%]	Sürücü Uygulaması	Çalışma Süresi (saat/yıl)
1600-4 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE1	92,7	Sabit Devirli	7000
Kataforez Üflemeler Fan Motoru 1	Asıl	5,5	KW	4	IE1	84,7	Değişken Devirli	7000
Kataforez Üflemeler Fan Motoru 2	Asıl	5,5	KW	4	IE1	84,7	Değişken Devirli	7000
Sarı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	Asıl	15	KW	4	IE1	88,7	Değişken Devirli	7000
Kırmızı Hat Beyaz Kabin Emiş Fan Motoru	Asıl	15	KW	4	IE1	88,7	Değişken Devirli	7000
Kırmızı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	Asıl	30	KW	4	IE1	90,7	Değişken Devirli	7000
Sarı Hat Renkli Kabin Emiş Fan Motoru	Asıl	30	KW	4	IE2	92,3	Değişken Devirli	7000
Son DI Banyosu 2	Asıl	11	KW	4	IE2	89,8	Değişken Devirli	7000
1. Yağ Alma Banyosu	Asıl	22	KW	4	IE2	91,6	Değişken Devirli	7000
Gövde Hattı 1-Motor 1	Asıl	30	KW	4	IE2	92,3	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 1-Motor 2	Asıl	75	KW	4	IE2	94	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 2-Motor 1	Asıl	75	KW	4	IE2	94	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 2-Motor 2	Asıl	22	KW	4	IE2	91,6	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 2-Motor 3	Asıl	55	KW	4	IE2	93,5	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 2-Motor 4	Asıl	37	KW	4	IE1	91,2	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 4-Motor 1	Asıl	55	KW	4	IE2	93,5	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 4-Motor 2	Asıl	55	KW	4	IE2	93,5	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 4-Motor 3	Asıl	75	KW	4	IE2	94	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 4-Motor 4	Asıl	75	KW	4	IE2	94	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 4-Motor 5	Asıl	75	KW	4	IE2	94	Sabit Devirli	7000
R1 Çevre Sacı Motor-1	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Sabit Devirli	7000
R1 Çevre Sacı Motor-2	Asıl	11	KW	4	IE3	91,4	Sabit Devirli	7000
R1 Gruplama Motor-1	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000
R1 Gruplama Motor-2	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
R2 Çevre Sacı Motor-1	Asıl	30	KW	4	IE3	93,6	Sabit Devirli	7000
R2 Çevre Sacı Motor-2	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
R2 Gruplama Motor-1	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Sabit Devirli	7000
R2 Gruplama Motor-2	Asıl	37	KW	4	IE3	93,9	Sabit Devirli	7000
R3 Çevre Sacı Motor-1	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000
R3 Çevre Sacı Motor-2	Asıl	11	KW	4	IE3	91,4	Sabit Devirli	7000
R3 Gruplama Motor-1	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
R3 Gruplama Motor-2	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
R4 Çevre Sacı Motor-1	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Sabit Devirli	7000
R4 Çevre Sacı Motor-2	Asıl	11	KW	4	IE3	91,4	Sabit Devirli	7000
R4 Gruplama Motor-1	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
R4 Gruplama Motor-2	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000

Şekil A.1 Elektrik motor envanteri

Motor Adı	Durum	Güç	Birim	Kutup Sayısı	Verimlilik Sınıfı	Verim Değeri [%]	Sürücü Uygulaması	Çalışma Süresi (saat/yıl)
Gövde Hattı 1 Motor-1	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 1 Motor-2	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 1 Motor-3	Asıl	45	KW	4	IE3	94,2	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 1 Motor-4	Asıl	55	KW	4	IE3	94,6	Sabit Devirli	7000
Gövde Hattı 3 Motor-1	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Sabit Devirli	7000
Rulman Çakma 1 Hidrolik Pompa Motoru	Asıl	22	KW	4	IE3	93	Sabit Devirli	7000
Rulman Çakma 2 Hidrolik Pompa Motoru	Asıl	22	KW	4	IE3	93	Sabit Devirli	7000
Rulman Çakma 3 Hidrolik Pompa Motoru	Asıl	22	KW	4	IE3	93	Sabit Devirli	7000
Rulman Çakma 4 Hidrolik Pompa Motoru	Asıl	22	KW	4	IE3	93	Sabit Devirli	7000
1700-1 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	200	KW	4	IE3	96	Değişken Devirli	7000
2000-1 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE3	95,8	Değişken Devirli	7000
2000-2 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE3	95,8	Değişken Devirli	7000
2000-3 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE3	95,8	Değişken Devirli	7000
2300-1 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Değişken Devirli	7000
2300-2 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Değişken Devirli	7000
2300-3 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE3	95	Değişken Devirli	7000
UF Modül Pompası	Asıl	15	KW	4	IE3	92,1	Değişken Devirli	7000
1. Yağ Alma Durulama Banyosu	Asıl	15	KW	4	IE3	92,1	Değişken Devirli	7000
P 20 Kataforez Sirkülasyon	Asıl	18,5	KW	4	IE3	92,6	Değişken Devirli	7000
P 21 Kataforez Sirkülasyon	Asıl	18,5	KW	4	IE3	92,6	Değişken Devirli	7000
Son DI 1	Asıl	15	KW	4	IE3	92,1	Değişken Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 1	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 2	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 3	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 4	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 5	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Kataforez Fırın Fan Motoru 6	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Sarı Hat Son Kat Fırın Fan Motoru 1	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Sarı Hat Son Kat Fırın Fan Motoru 2	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Sarı Hat Son Kat Fırın Fan Motoru 3	Asıl	7,5	KW	4	IE3	90,4	Sabit Devirli	7000
Ön DI Durulama	Asıl	15	KW	4	IE3	92,1	Değişken Devirli	7000
2. Yağ Alma Banyosu	Asıl	18,5	KW	4	IE3	92,6	Değişken Devirli	7000
2. Yağ Alma Durulama Banyosu	Asıl	15	KW	4	IE3	92,1	Değişken Devirli	7000
Kırmızı Hat Son Kat Fırın Fan Motoru 1	Asıl	18,5	KW	4	IE3	92,6	Değişken Devirli	7000
Kırmızı Hat Son Kat Fırın Fan Motoru 2	Asıl	18,5	KW	4	IE3	92,6	Değişken Devirli	7000
Kataforez 1. Yıkama	Asıl	11	KW	4	IE3	91,4	Değişken Devirli	7000
Kataforez 2. Yıkama	Asıl	11	KW	4	IE3	91,4	Değişken Devirli	7000
1600-7 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE4	96,6	Değişken Devirli	7000
1600-8 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE4	96,6	Değişken Devirli	7000
1600-9 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	160	KW	4	IE4	96,6	Değişken Devirli	7000
1800-1 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE4	96	Değişken Devirli	7000
1800-2 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE4	96	Değişken Devirli	7000
1800-3 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE4	96	Değişken Devirli	7000
1800-4 Tezgah Pompa Motoru	Asıl	75	KW	4	IE4	96	Değişken Devirli	7000

Şekil A.1 Elektrik motor envanteri (Devamı)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Fatih MEMİŞ
Doğum Tarihi ve Yeri :16.07.1990 - Afyon
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :fatihmemis1990@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Maltepe Askeri Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 -....	Arçelik A.Ş.	Uzman-Enerji

YAYINLARI

Bildiri

1. Memiş, F. and Heperkan, H., “A Theoretical and Experimental Approach to Increase Energy Efficiency in an Industrial Plant”, International Congress of Energy Economy and Security (ENSCON’19), April 6-7, 2019, İstanbul, Turkey.