

**BİR SANAYİ KURULUŞUNDA  
DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI  
VE VERİMLİLİK İMKANLARININ BELİRLENMESİ**

**2014  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Selman ÇAĞMAN**

**BİR SANAYİ KURULUŞUNDA  
DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI  
VE VERİMLİLİK İMKANLARININ BELİRLENMESİ**

**Selman ÇAĞMAN**

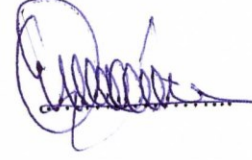
**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Aralık 2014**

Selman ÇAĞMAN tarafından hazırlanan “BİR SANAYİ KURULUŞUNDA DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI VE VERİMLİLİK İMKANLARININ BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Durmuş KAYA

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/01/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KOÜ)

Üye : Doç. Dr. Ethem TOKLU (DÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)



.../.../2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Selman ÇAĞMAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİR SANAYİ KURULUŞUNDA DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI VE VERİMLİLİK İMKANLARININ BELİRLENMESİ**

**Selman ÇAĞMAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Durmuş KAYA**

**Aralık 2014, 49 sayfa**

Sanayileşme hamlesi, nüfusun artış trendinde olması ve öz enerji kaynaklarının yetersiz kalması nedeniyle artan enerji talebine en etkin ve kısa süreli cevap enerji verimliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Zira devlet politikası olarak desteklenmesi ve teşvik edilmesi kolay bir araç olan bu yöntem, özellikle ülkemiz gibi enerjide dışa bağımlılık fazla olan ve bu bağımlılık derecesinin her geçen yıl arttığı ülkelerde başarılı sonuçlar vermiştir. Enerji verimliliği üretim yapılan bir fabrika ortamında ürünün üretimden paketlenmeye kadar tüm aşamalarda takibi, tüketilen enerjinin izlenmesi, ölçülmesi ve kayıt edilmesi ayrıca yeni teknolojilerin kullanımı ile çıktı ürün kalitesini düşürmeden, yaşam kalitesini de etkilemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır.

Bu maksatla enerji tüketiminin yoğun olduğu bir fabrikada enerji verimliliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında, bir enerji verimliliği çalışması irdelenmiştir. Fabrikada basınçlı hava hatlarında sızıntı kaçak kontrolü, kompresörler, pompalar, değirmenler, mikserler, kırıcılar, aydınlatma sistemlerinde enerji kayıplarına yönelik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca, kestirimci bakıma dayanan ölçümler de yapılarak raporlanmıştır. Buna göre enerji tasarrufu sağlanabilecek alanlar belirlenerek bunlar için yapılacak yatırım maliyeti ve bu maliyetin basit geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : Enerji verimliliği, enerji tüketimi, enerji etüdü.

**Bilim Kodu** : 916.1.233

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **A COMPREHENSIVE ENERGY AUDIT IN AN INDUSTRIAL ORGANIZATION AND DETERMINATION OF THE POTENTIAL EFFICIENCY**

**Selman ÇAĞMAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Durmuş KAYA**

**December 2014, 49 pages**

The most efficient and easiest way of response to increasing energy demand which occurs as a result of industrialization drive, increasing trend in the population and lack of self energy resources, is energy efficiency. Likewise, this method, which is an easy tool to support and encourage by the governmental policy, gave successful results in, where the dependency on energy import is high and every passing year of the degree of dependency increased countries like in our country.

Energy efficiency is reduction of energy with monitoring the consumed energy, measuring and recording of energy in all steps from production till packaging in a factory environment with using new technology without affecting the quality of life and reducing the output product quality. A comprehensive energy audit was conducted in an intensively energy consumed factory. In this thesis, a study of

energy efficiency was examined. The leakage control in compressed air lines, compressors, pumps, mills, mixers, crushers, measurements in lighting systems were controlled to define energy losses and measurement results were evaluated. In addition, measurements were also carried on and reported based on predictive maintenance. Accordingly, energy savings areas were determined and the investment cost and simple payback period of this cost was calculated.

**Key Word** : Energy efficiency, energy consumption, energy audit.

**Science Code** : 916.1.233



## TEŞEKKÜR

Gerek akademik hayatım gerekse profesyonel iş hayatımda bana destek olup bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeğine olan hocam Sayın Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya

Desteklerini bizden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa YAŞAR'a

Üniversitemizin güzide hocalarından Sayın Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a

Çalışmalarımızda bizi teşvik eden Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ'ye

Çalışma hayatımda önemli yer tutan mesai arkadaşlarım ve dostlarım, Volkan ÇOBAN ve Muharrem EYİDOĞAN'a

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi emeği olan annem, babam, kardeşim ve tüm aileme,

Hayat arkadaşım biricik eşim Nida'ya ve dünya tatlısı oğullarım Ali Mirza ve Beyazıt'a

Sonsuz şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3 .....	9
MATERYAL VE METOT.....	9
3.1. BİR SANAYİ KURULUŞUNDA DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI . 9	
3.1.1. Fabrika Genel Bilgileri .....	10
3.2. BASINÇLI HAVA .....	15
3.2.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....	15
3.2.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler .....	15
3.2.3. Hesaplamalar .....	18
3.2.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları .....	22
3.3. ELEKTRİK MOTORLARI ARIZA ERKEN UYARI SİSTEMİ.....	25
3.3.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....	25
3.3.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler .....	26
3.3.3. Hesaplamalar .....	27

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları .....	29
3.4. POMPALAR .....	32
3.4.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....	32
3.4.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler .....	33
3.4.3. Hesaplamalar .....	35
3.4.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları .....	36
3.5. DEĞİRMENLER .....	37
3.5.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....	37
3.5.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler .....	37
3.5.3. Hesaplamalar .....	37
3.5.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları .....	38
3.6. ELEKTRİK.....	40
3.6.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....	40
3.6.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler .....	40
3.6.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar .....	42
3.6.4. Öneriler, Enerji Tasarrufu İmkânları ve Miktarları .....	43
BÖLÜM 4 .....	44
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	44
4.1. SONUÇLAR.....	44
4.2. ÖNERİLER .....	46
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ .....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 1.1. Türkiye'nin enerji ithalatı 2001-2012-2023 .....	1
Şekil 1.2. Tüketilen enerjinin sektörlere göre dağılımı (2013) .....	2
Şekil 2.1. Basınçlı hava sistemlerinin bir yıllık giderler. ....	8
Şekil 3.1. Son üç yıla ait elektrik tüketim bilgileri. ....	11
Şekil 3.2. Son üç yıla ait elektrik maliyet bilgileri. ....	11
Şekil 3.3. Yıllara göre enerji tüketimi. ....	13
Şekil 3.4. Ultrasonik sızıntı detektörü resmi. ....	16
Şekil 3.5. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti. ....	18
Şekil 3.6. Örnek bir online debi ölçer cihaz resmi. ....	23
Şekil 3.7. Örnek bir kompresör resmi. ....	24
Şekil 3.8. 100 NT 02 flotasyon selülü sonuç diyagramı. ....	28
Şekil 3.9. Atık su pompaları. ....	32
Şekil 3.10. Dere pompaları görünümü. ....	32
Şekil 3.11. Fluke 435 model elektrik enerji analizörü. ....	33
Şekil 3.12. Fabrikadaki aydınlık seviyeleri. ....	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Enerji tüketim bilgileri. ....	10
Çizelge 3.2. Enerji maliyet bilgileri. ....	10
Çizelge 3.3. Son üç yıldaki ürün üretim miktarları. ....	12
Çizelge 3.4. Ölçüm cihazları. ....	14
Çizelge 3.5. Kompresörlerde yapılan elektriksel ölçüm sonuçları. ....	17
Çizelge 3.6. Basınçlı hava sızıntı ölçümleri. ....	17
Çizelge 3.7. Basınçlı hava hattında tespit edilen kaçaklarının yıllık maliyeti. ....	20
Çizelge 3.8. Basınç hava sistemi yatırımlarının geri ödeme süreleri. ....	24
Çizelge 3.9. Ölçümü yapılan ekipmanların listesi. ....	26
Çizelge 3.10. 100 NT 02 Flotasyon selülü Artesis AMT Verileri. ....	27
Çizelge 3.11. Motorlardaki arızaların motor verimliliğine etkisi. ....	27
Çizelge 3.12. Kestirimci bakım sonuçları ve öneriler-3 aylık. ....	29
Çizelge 3.13. Kestirimci bakım sonuçları ve öneriler-6 aylık. ....	30
Çizelge 3.14. Ölçüm yapılan motorlar için verimlilik analizleri. ....	31
Çizelge 3.15. Atık su pompaları ölçüm sonuçları. ....	34
Çizelge 3.16. Dere pompaları ölçüm sonuçları. ....	34
Çizelge 3.17. Yapılan ölçümler ve alınan değerler. ....	37
Çizelge 3.18. Mevcut aydınlatma bilgileri. ....	40
Çizelge 3.19. Aydınlatma değişimi bilgileri. ....	42
Çizelge 3.20. Aydınlatma değişimi tasarruf analizi. ....	43
Çizelge 3.21. Aydınlatma değişimi analizi. ....	43

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

A	: Elektrik motorunun şebekeden çekilen akım (Amper)
dB	: Desibel
$E_a$	: Kompresör adyabatik verimi
$E_m$	: Kompresör motor verimi
$k$	: Havanın spesifik ısı oranı (1,4)
K	: Kelvin
kg/h	: kilogram/saat
kVAr	: kiloVoltAmper reaktif
kVA	: kiloVoltAmper
kW	: kiloWatt
kWh	: kiloWatt saat
kWh/yıl	: kiloWatt saat/yıl
lux	: Lüks, ışık aydınlık düzey birimi
MW	: MegaWatt
N	: Kademe sayısı
$P_o$	: Kompresör çalışma basıncı, kPa
ton/h	: Ton/saat
V	: Elektrik motorunun şebekeden çektiği gerilim (Volt)
$V_f$	: Kaçan hava debisi ( $m^3/s$ )

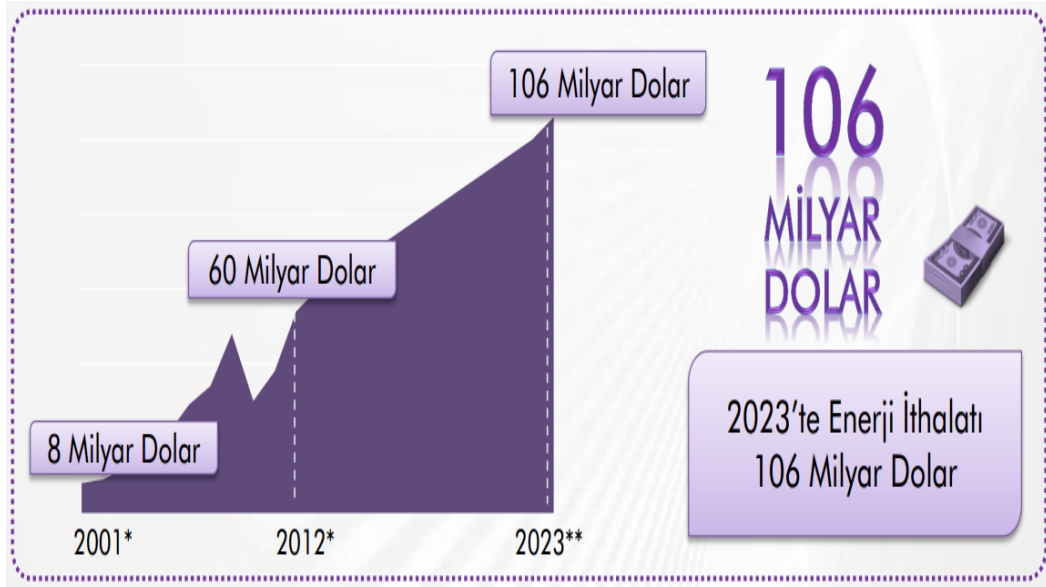
## **KISALTMALAR**

- AMT : Asset Management Toolkit (Varlık Yönetimi Sistemi)  
ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı  
GF : Güç Faktörü  
GSYH : Gayri Safi Yurtiçi Hasıla  
LED : Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)  
TEP : Ton Eşdeğer Petrol  
VSD : Variable Speed Drive (Değişken Hız Sürücüsü)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun yaşamını sürdürmesi için gerekli temel ihtiyaçlardan birisidir. Ülkenin nüfusu ve gelişmişliği arttıkça enerjiye olan ihtiyaçta artış göstermektedir. Enerji talebi ise yerli enerji kaynaklarının kullanımı veya enerji ithalatı yapılarak karşılanabilir. Ülkemiz enerji açısından dışa bağımlı olup yaklaşık %83'lere varan oranlarda enerji ithalatı yapılmaktadır. Bundan dolayı 2013 yılında enerji ithalatına 55.9 milyar dolar ödenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tahminlerine göre 2023 yılında birincil enerji talebinin %90 oranında artışla 218 milyon TEP'e ulaşması ve Şekil 1'de gösterildiği üzere 106 milyar dolar ithalata çıkması beklenmektedir [1].



Şekil 1.1. Türkiye'nin enerji ithalatı 2001-2012-2023.

Mevcut duruma bakıldığında enerji anlamında yerli enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle farklı çözüm senaryoları üretip bunları hayat geçirmek gerekliliği



vardır. Bu anlamda yenilebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının artırılması, enerjinin daha verimli kullanılması akla gelen iki farklı metodolojidir.



Şekil 1.2. Tüketilen enerjinin sektörlere göre dağılımı (2013).

ETKB verilerine göre Şekil 1.2'de gösterildiği gibi sektörel talep dağılımında ise %27 pay ile sanayi ilk sırada yer almaktadır. Diğer taraftan enerji verimliliği metodolojisi ile sanayide %20'lik bir enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Bunun parasal karşılığı ise yaklaşık yılda 5 milyar Dolar'dır.

Enerjiyi farklı çeşitlerde kullanan sanayi kuruluşlarında bu enerji dönüşümleri esnasında belli kayıpların olduğu Termodinamik kanunları uyarınca bilinen bir gerçektir. Ancak bu kayıplar son yıllarda enerji fiyatlarındaki artış nedeniyle daha kıymetli hale gelmiştir. Fiyat artışı sebebiyle bu denli enerji kayıplarının yatırımlar yapılmak suretiyle iyileştirilmesi yapılacak yatırımları karlı hale getirmiştir. Ayrıca, enerji tasarrufu çalışmaları ile sadece enerji tüketimi azalmakla kalmamakta, bu çalışmalar sırasında bakım, onarım, işletme alışkanlıkları gibi fonksiyonların yeniden düzenlenmesi ile üretim ve işletme verimlerinde de artışlar sağlanmaktadır [2].

Sanayide uygun teknik imkanların bilinmemesi, enerji yönetimi konusunda uzman kadroların bulunmayışı, ölçü ve kontrol aletlerinin eksikliği gibi faktörler teknik engelleri oluşturmakta ve enerji tasarruf çalışmalarını gündemden uzak tutmaktaydı [2]. Son yıllarda devlet politikalarının oluşturulması ve 2 Mayıs 2007 tarihinde

yürürlüğe giren 5627 nolu Enerji Verimliliği Kanunu'da enerji verimliliğinin toplumdaki bilinirlik seviyesini arttırmıştır. Böylece sanayide karşılaşılan engeller ortadan kaldırılmıştır çünkü çıkan yasa ile enerji tüketim miktarına göre kurumlar bünyelerinde Enerji Yöneticisi yada Enerji Yönetim Birimi barındırmak zorundadırlar. Bu görevli kişilerin asil görevleri ise enerji verimliliği odak noktalarının bulunması ve iyileştirme yapılmasıdır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Chand ve Shirvani otomotiv sanayi tedarikçisi konumundaki hücresel üretim yapan bir firmada toplam verimli bakım çalışmalarının etkilerini incelemişlerdir. Genel ekipman verimliliğini ve altı büyük kayıptan kaynaklanan zararları tespit etmişlerdir [3].

Dorhofer ve ark. çalışmalarında bir işletmedeki verimliliği artırmak için veri toplama ve anlık verileri değerlendirme sistemi kurmuşlardır. Böylece elde edilen veriler incelenerek enerji yönetim ve ileriye yönelik yatırımlarda kullanılacak bilgiler elde edilmiştir. Elektrik dağıtım şirketleri işletmelerin düşük güç faktörleri için değişik oranlarda tarifeler ve cezalar uygulamaktadır. Bu nedenle işletmeler ödenen reaktif güç bedelini azaltmak ve cezalardan sakınmak için elektriğin verimli bir şekilde kullanılmasına önem vermektedirler [4].

Schumacher ve Sathaye çalışmalarında; Hindistan çimento sektöründe enerji verimliliğini ve karbondioksit emisyonlarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, 2001 ve 2006 yılları arasında enerji maliyetlerinde % 6.7 artış olduğunu, 2011 yılındaki tahmini değerlendirmede bu artışın % 4.28 oranında gerçekleşeceğini belirtmişler, karbondioksit emisyonunun ise 2006 yılına göre 2011 yılında % 40 artacağını değerlendirmişlerdir. Verimliliğin yükseltilmesi ve karbondioksit emisyonunun azaltılması için yapısal değişimleri kapsayan enerji dönüşüm sistemlerinin uygulanmasını önermişlerdir [5].

Daloğlu tez çalışmasında; çimento sektörünün küresel ticaret koşullarında rekabet konumunu muhafaza edip sürdürebilmesi için gerekli olan, çağdaş enerji verimliliği uygulamalarının metodolojisini, mühendislik yaklaşımlarını, teknolojilerini ve

uygulamalarını incelemiştir. Bunun içinde öncelikle çimento sektörünün küresel bir modelini oluşturmuş ve bu model yardımıyla çimento sektörünün üretim parametrelerini (yakıt, hammadde, katkı maddesi vb. girdisel karışımlar, enerji kullanımı vb. verilerle enerji tasarrufu potansiyellerinin boyutları, bu potansiyellerden yararlanma yöntemleri) belirlemeyi hedeflemiştir [6].

Kaya ve Güngör, yakma havasının ısıtılması, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı, sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonu, boşta çalışma süresinin azaltılması, standart V-kayışları yüksek verimli olanlar ile değiştirilmesi gibi konuları irdelenmiştir. Her bir tasarruf potansiyeli için; Türkiye'nin değişik illerinde ve ABD'nin Arizona ve Nevada eyaletlerindeki farklı sanayi tesislerinde gerçekleştirilmiş enerji tasarrufu çalışmalarından örnekler verilmiştir. Bu örneklerde tasarruf miktarı, tasarrufun mali karşılığı, yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [7].

Can vd., Bursa da yer alan bir tekstil fabrikasından elde edilen gerçek verilerden yararlanılmıştır. Bu fabrikada, boyahanedeki 65°C'de çıkan atık suyun enerjisinden yararlanmak için plakalı ısı eşanjör kullanılmaktadır. Uygulamada plakalı eşanjör yerine ısı pompası kullanılması halinde, her iki sistemin ekonomik analizi yapılmış ve ilk yatırım maliyeti, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre yüksek sıcaklıklarda plakalı eşanjörü kullanmak daha avantajlı görülmüştür. bir tekstil fabrikası boyahanesinde 65°C'de atılan atık suyun ısısından yararlanmak amacıyla plakalı eşanjör ve ısı pompası kullanılması ekonomik yönden araştırılmıştır. Yapılan ekonomik analizin sonucu olarak, plakalı eşanjör kullanımı, ısı pompasına nazaran ilk yatırım maliyeti açısından 20000 Euro, yıllık enerji tasarrufu açısından yaklaşık 130 000 Euro, geri ödeme süresi açısından 6 ay daha avantajlı görülmektedir [8].

Budak vd, su soğutma sistemlerinde performans tanımları, uygulanabilen verimlilik artırışı çalışmaları ve yüksek performanslı ısı geri kazanım sistemlerini (desuperheater) incelemiştir. Isı geri kazanımının nasıl uygulanacağı hakkında bilgiler vererek ve yapılan yatırımın çevreye ve ülke ekonomisine katkılarını irdelenmiştir. Soğutma sezonu boyunca yüksek kapasitede ısı enerjisine ihtiyaç

duyulan projelerde de %100 ısı geri kazanımlı cihazların değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır [9].

Zhang ve Kim, 2014, Kore'de bulunan enerji üretim tesislerinde 2007-2011 yılları arasında enerji verimliliğinin sera gazı emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak birçok firmanın enerjiyi verimli kullanmadığını dolayısıyla bu konuda büyük bir potansiyelin olduğunu tespit etmişlerdir. Kore Hükümetinin bu konu ile alakalı hızlı bir politika geliştirmesi ve yeni enerji şirketlerinin kurulmasına izin vermek yerine mevcut şirketlerin enerji verimliliği projelerine destek vermesinin daha hızlı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir [10].

Energy Efficiency Update raporuna göre Kanada'da enerji verimliliği sayesinde 1990-2011 yılları arasında 34 milyar Dolar kazanılmıştır. Bu Kanada'nın gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH)'nin %2'sine karşılık gelmektedir. Kanada bu sayede enerji verimliliği sayesinde %25 iyileştirme sağlamıştır. Örneğin kağıt endüstrisinde son 25 yıldır enerji verimliliğine yönelik yatırımlar yapılmıştır. Bunların karşılığı olarak ise 2011 yılında bu sektörde toplam 2,1 milyar Dolar'lık iyileştirme yapılmıştır. Diğer bir deyişle kağıt hamurunda ton başına 115 Dolar'lık maliyet azalımı yapılmıştır [11].

Pattanyak, yaptığı çalışmada 500 MW kapasiteli pulverize kömürlü kazanı incelenmiştir. Kazan boylerinde mevcut çalışma şartlarında enerji verimliliğinin %85,77 olduğunu hesaplamıştır. Yanma havasındaki oksijen miktarını %0,5 arttırarak %0,65'lik bir verim sağlamıştır [12].

Bu çalışma Hollanda'da bir elektronik firmasında yürütülmüştür. Bu firmada vardiyalı çalışma yapılmaktadır. Montaj masaları üzerindeki aydınlık düzeyleri, 800 lx ile 1200 lx arasında değiştirilebilmektedir. Verimlilik, üretim zamanını ve hataları kayıt eden cihazlar yardımı ölçülmüştür. Aydınlık düzeyinin arttırılması ile verimlilik %3 oranında artmıştır, gece vardiyasında bu artış oranı %7 olarak saptanmıştır [13].

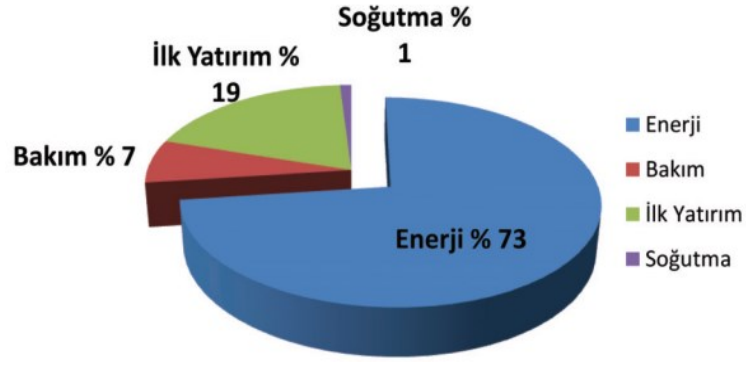
Turhan çalışmasında, bir sanayi kuruluşunun 70 bar basınç, 778,15 °K sıcaklık ve 100.000 kg/h nominal buhar üretim kapasiteli karışık yakıtlı (yüksek firm gazı+kok

gazı+kömür) kazanda enerji verimliliği çalışması yapılmıştır.Ölçümler neticesinde elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda; kazan verimi % 85,3 olarak bulunmuştur. Kazanda suya verilen ısı gücü 6743,37 kW iken, hava fazlalık katsayısının azaltılması ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı 550,10 kW ve sızıntı havanın önlenmesi ile 1251,60 kW olmak üzere toplam tasarruf miktarı 1801,70 kW olmuştur. Bu tasarrufun bir yıllık mali değeri yaklaşık 309 465 \$ olduğu hesaplanmıştır [14].

Kompresörler genel anlamıyla sıkıştırılabilir akışkanların basıncını arttırmak için kullanılan makinelerdir. Kompresör girişindeki akışkanın (genellikle gazın) basınç seviyeleri vakumdan atmosferik basıncın çok üstündeki değerler arasında yer alabilmektedir. Aynı şekilde kompresör çıkışında elde edilen basınç değeri aralığı da düşük atmosfer basıncından çok yüksek atmosfer üstü değerler arasında değişebilmektedir [15].

Basıncı hava sağlayan endüstriyel sistemler birçok alt kademeden oluşmaktadır. Bu alt kademeleri genel olarak sayarsak; kompresör, tahrik sistemi, kontrol ünitesi, bakım ünitesi, dağıtım sistemi ve aksesuarlardan oluşmaktadır. Tahrik ünitesi elektrik motoru veya içten yanmalı motor olup kompresörü harekete geçirmektedir. Kontrol ünitesi, basınçlı gazın miktarını ayarlar. Bakım ünitesi, gazın içindeki istenmeyen maddeleri uzaklaştırır. Dağıtım sistemi de gazın sistem içinde sevkini sağlar ve kullanılacak yerlere ulaştırır [16,17].

Bir kompresörü bir sene çalıştırmak için harcanan elektrik enerjisinin maliyeti genelde kompresörün satın alma fiyatını geçmektedir. Örneğin; 100 kW gücünde ve %90 verimle çalışan bir elektrik motoruna sahip kompresörün yılda 6000 saat çalıştığı varsayılırsa, 0.07 Dolar/kWh enerji birim fiyatı için yıllık enerji harcaması 46600 Dolar'dır. Bu örnek basınçlı hava sistemindeki tasarrufun rakamsal boyutunu ortaya koymaktadır. Oysa bu sistemlerde pratik bazı önlemlerle önemli miktarda enerji ve mali tasarruflar sağlanabilir. Basınçlı hava sisteminde çalışan bir kompresörün bir yıllık maliyet dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir [16,17].



Şekil 2.1. Basınçlı hava sistemlerinin bir yıllık giderler.

Tüm bu bilgiler ışığında sanayide enerji verimliliği uygulamaları ile ilgili şu sonuçlara varılabilir;

Nüfus artışı ile enerjiye olan talep artacağı için kısıtlı kaynakları olan ülkemizin enerji verimliliğine daha çok odaklanması,

- Enerji tüketimi fazla olan ünite, ekipman, sistem yada birimlerin gözden geçirilerek tasarruf odaklarının belirlenmesi,
- Enerji verimliliğine düşük yatırım gider kalemleriyle başlanarak elde edilecek pozitif girdi sayesinde daha yüksek gider kalemleri önünü açmak,
- Bir işletme içerisinde enerji maliyetinin azaltılabilmesi için gerçekçi bir hedef ve etkin politikaların belirlenerek gerekli kaynakların (uzman ekip, cihaz ve süre) tahsis edilmesi ile gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, bir sanayi kuruluşunda detaylı enerji etüt çalışması gerçekleştirilmiş olup elde edilen veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Etüt çalışması sonrasında tasarruf sağlanabilecek odak noktaları belirlenmiş ve çıkan tasarruf miktarı, yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

#### 3.1. BİR SANAYİ KURULUŞUNDA DETAYLI ENERJİ ETÜT ÇALIŞMASI

Günümüz rekabetçi koşulları ve artan enerji fiyatları nedeniyle bir işletmenin tükettiği enerjiyi etkin kullanabilmesi, ancak zamanında yatırım yaparak teknolojinin güncelleştirilmesi, işletme şartlarının optimizasyonu ve sürekli kontrolü sonucunda yapabilecek tasarruflar ile mümkündür. Bu doğrultuda X Fabrikası yetkilileri işletme sahasında olası kayıpları tespit etmek ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak bu çalışmayı başlatmıştır.

X Fabrikası'nda basınçlı hava hatlarında sızıntı kaçak kontrolü, kompresörler, pompalar, değirmenler, mikserler, kırıcılar, aydınlatma sistemlerinde enerji kayıplarına yönelik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca, kestirimci bakıma dayanan ölçümler de yapılarak raporlanmıştır. Ölçüm çalışmalarında her bir ekipman ve hat ayrı ayrı incelenerek, gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Tespit edilen kayba neden olan noktalar, bu noktalardan ne kadar kayıp gerçekleştiği ve bu kaybın telafisi için gerekli yatırım ihtiyaçları ve fiyat bilgileri konusunda önerilerde bulunulmuştur.

X Fabrikasında gerçekleştirilen enerji etütlerinin amacı enerjinin etkin kullanılması, enerji tasarruf imkanlarının belirlenmesi, mevcut durumda verimlilik artırıcı projelerin belirlenmesi, yapılan etütlerle birlikte çevrenin korunması ve enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesidir. Bu projelerde sağlanan tasarruf ile üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.



X Fabrikasında gerçekleştirilen enerji verimliliği etütleri kapsamında yapılan ölçümler ve incelemeler aşağıda belirtilmiştir:

- Basınçlı hava sisteminde sızıntı kaçaklarının tespiti,
- Basınçlı hava kompresör sisteminin incelenmesi,
- Pompalarının incelenmesi,
- Değirmenlerin incelenmesi,
- Filtrelerin incelenmesi,
- Blowerların incelenmesi,
- Motorlarda kestirimci bakım analizleri,
- Aydınlatma analizleri

yapılmıştır.

### 3.1.1. Fabrika Genel Bilgileri

X Fabrikası'na ait son üç yılın enerji tüketim bilgileri Çizelge 3.1'te ve enerji maliyetleri ise Çizelge 3.2'te verilmiştir.

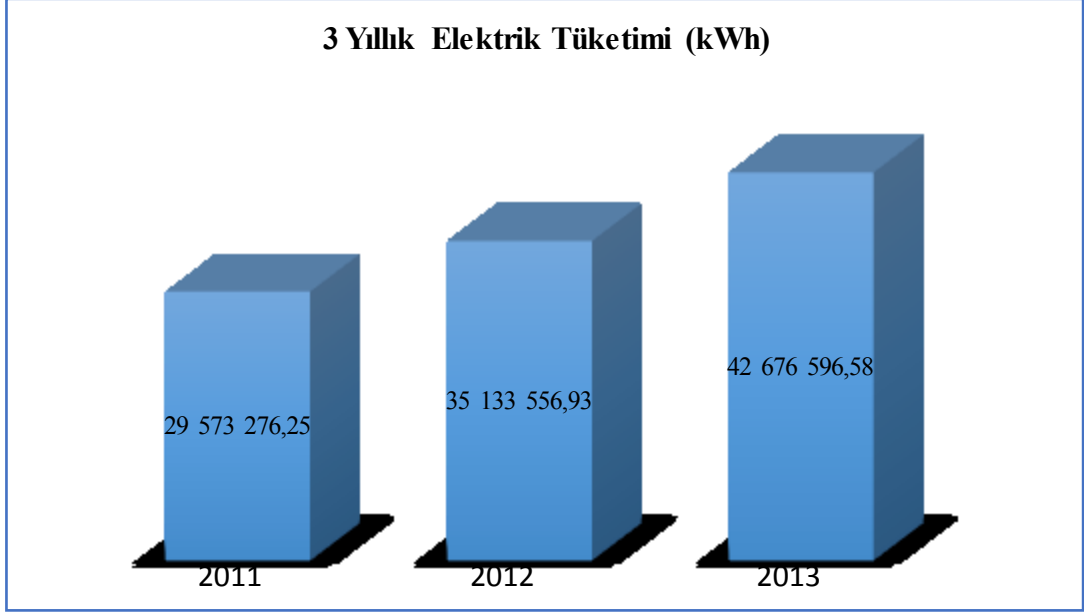
Çizelge 3.1. Enerji tüketim bilgileri.

Yıllar	Elektrik Tüketimi (kWh)
2011	29 573 276,25
2012	35 133 556,93
2013	42 676 596,58

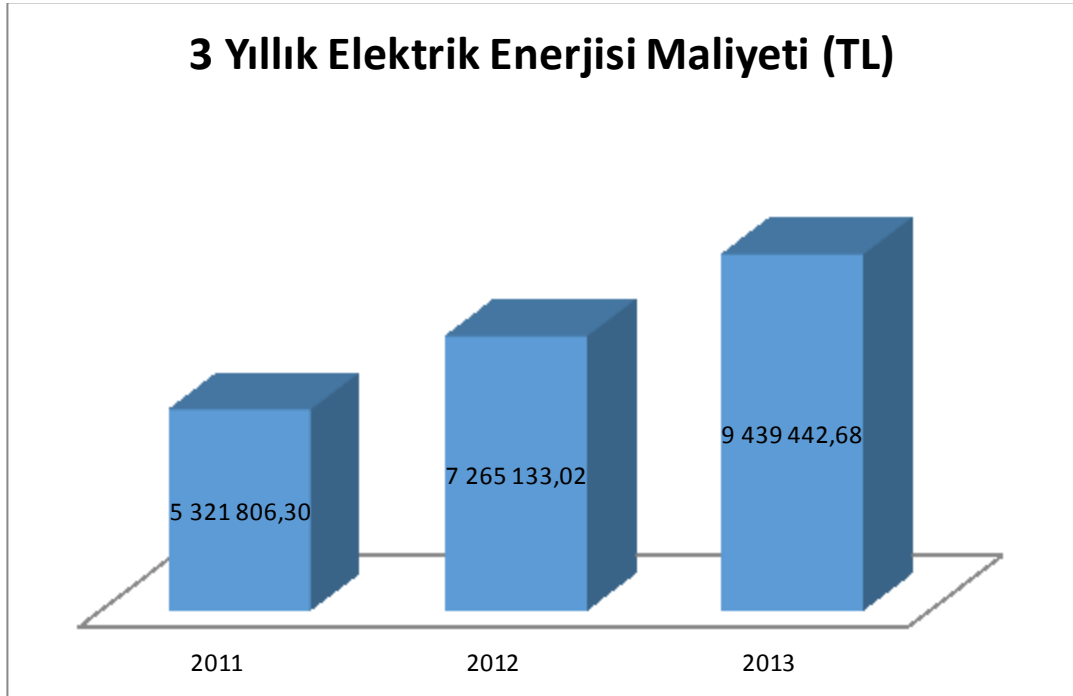
Çizelge 3.2. Enerji maliyet bilgileri.

Yıllar	Elektrik Maliyeti (TL)
2011	5 321 806,36
2012	7 265 133,02
2013	9 439 442,68

Son üç yıla ait elektrik maliyeti bilgileri Şekil 3.1'de, son üç yıla ait elektrik tüketim bilgileri Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Son üç yıla ait elektrik tüketim bilgileri.



Şekil 3.2. Son üç yıla ait elektrik maliyet bilgileri.

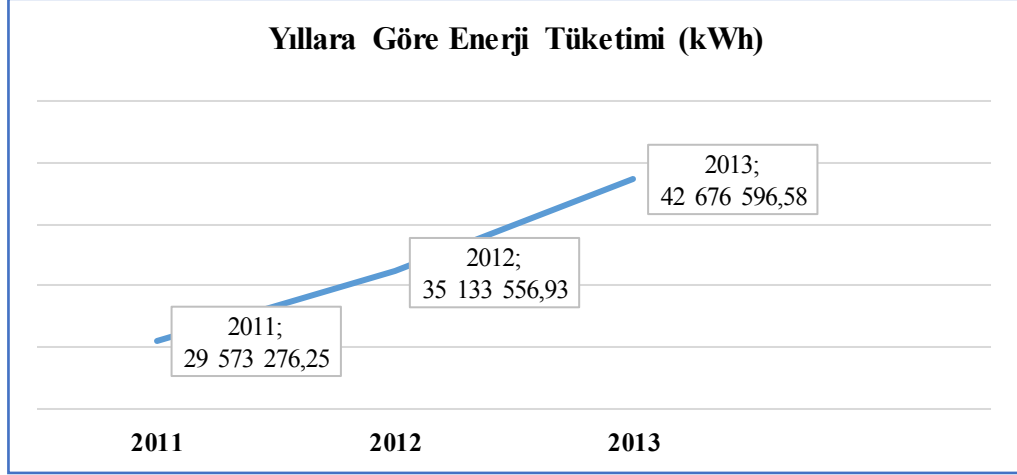
X Fabrikası'na ait 2011, 2012 ve 2013 yıllarındaki toplam üretim miktarları incelenmiştir. Buna göre 2011 yılında üretim miktarı 71.279,91 ton iken 2012 yılında 82.112,86 ton olmuştur. 2013 yılında ise 88.355,27 ton olarak gerçekleşmiştir. Son

üç yılda fabrika bünyesinde üretimi gerçekleşen ürün miktarları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Son üç yıldaki ürün üretim miktarları.

<b>Ürün Miktarı (ton)</b>			
<b>Ay/Yıl</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Ocak	5786,82	7257,43	6118,61
Şubat	5523,55	6328,74	7128,67
Mart	6589,83	7247,72	8176,63
Nisan	5296,13	7244,24	9269,32
Mayıs	5258,02	7156,22	8348,25
Haziran	5576,12	7869,59	6978,03
Temmuz	5762,73	6876,25	7650,73
Ağustos	6903,41	5569,32	8162,19
Eylül	6040,70	7065,58	7245,06
Ekim	6526,82	7271,98	7271,57
Kasım	6462,59	6812,19	5740,40
Aralık	5553,19	5413,60	6265,81
<b>TOPLAM</b>	<b>71279,91</b>	<b>82112,86</b>	<b>88355,27</b>

İşletmenin yıllara göre enerji tüketim değerleri Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında 2011 yılında 29 573 276,25 kWh' lik elektrik tüketimi olmuştur. 2012 yılında ise bir önceki yıla göre enerji tüketim miktarında artış olmuş ve 2012 yılında enerji tüketimi 35 133 556,93 kWh olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılında neredeyse bir önceki yıldaki tüketim miktarı kadar, 42 676 596,58 kWh elektrik tüketimi söz konusu olmuştur.



Şekil 3.3.Yıllara göre enerji tüketimi.

### 3.1.2. Etüt Metodolojisi

Enerji etütleri; veri analizi, yerinde inceleme, enerji tüketim karakteristiğinin belirlenmesi ve enerji tasarruf olanaklarının değerlendirilmesi olarak dört aşamadan oluşur.

I. Veri Analizi: Bu aşamanın amacı binadaki enerji sistemlerinin karakteristiklerini değerlendirmek ve enerji kullanım modelini oluşturmaktır. Enerji kullanımı binanın geçmiş yıllarda ödemiş olduğu enerji faturalarından izlenir. Geçmiş dönemlere ait faturalar incelenerek, tesisin enerji kullanımında mevsim ve iklim koşullarının etkisi araştırılır.

II. Yerinde İnceleme: Bu aşamada, potansiyel enerji tasarrufu sağlayacak önlemler tanımlanır. Eldeki veriler ile binada daha ayrıntılı etüt çalışmalarının yapılmasının gerekli olup olmadığı belirlenir. Ön etüt çalışmasında yapılması gerekenler şunlardır:

III. Enerji Tüketim Karakteristiğinin Belirlenmesi: Bu aşamanın amacı tesisin mevcut çalışma koşullarını ve enerji kullanımını tanımlayan bir temel uygulama modeli oluşturmaktır. Bu model enerji tasarrufunu tahmin etmede referans olarak kullanılacaktır. Bu aşamada yapılması gerekenler:

IV. Enerji Tasarruf Olasılıklarının Değerlendirilmesi: Enerji tasarruf olasılıklarının ekonomik analiz yöntemleri ile maliyet etkinliğinin belirlenmesidir. Bu aşamada yapılması gerekenler de aşağıda sıralanmıştır:

Enerji etüdü sırasında kullanılan cihazların listesi Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ölçüm cihazları.

<b>Cihaz adı</b>	<b>Etüt sırasında Kullanıldığı yerler</b>
UE Systems Ultraprobe 3000 - Ultrasonic Ses Ölçer	Basınçlı hava sızıntı kayıplarının, buhar hatlarında traplerdeki kaçakların tespitinde
GE PT878 – Ultrasonik Debimetre	Sıvı hatlarında debi ölçümünde
Flir T620 Termal Kamera	Sıcak yüzeylerde ısı kayıplarının tespitinde
Testo 875-2i Termal Kamera	Elektriksel bağlantılarda
Testo 435 Çoklu Ölçüm Cihazı	Sıcaklık, hız ölçümü, nem ölçümü, aydınlatma, iç ortam hava kalitesi ölçümlerinde
Fluke 435-II Enerji analizörü	Elektrik ölçümlerinde
Artesis MCM Kestirimci Bakım Cihazı	Elektrik motorları arıza tespitinde
Pakkens Mekanik Manometre	Sıvı hatlarında basınç ölçümü

## 3.2. BASINÇLI HAVA

### 3.2.1. Ünite ve Sistem Tarifi

X Fabrikası'nda 8 bar basınçta hava kullanılmaktadır. Basınçlı hava üretimi için bir adet kompresör dairesi bulunmaktadır. Kompresör dairesinde 3 adet Atlas Copco kompresör yer almaktadır. Bu kompresörlerden genellikle 1 adeti aktif olarak çalışmakta, 2 adeti yedek beklemektedir. Atlas Copco kompresörler yaklaşık 290 kW gücünde olup, tüm kompresörlerde VSD (Değişken Hız Sürücüsü) bulunmaktadır.

### 3.2.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

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 ölçümlerde ise kompresörlerin basınç değerleri ve basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarları belirlenmiştir.

Elektriksel ölçümlerde, kompresör motorlarında motorun besleme gerilimi, şebekeden çekmiş olduğu akım ve motorun güç faktörü ölçülmüştür. Ölçüm verileri kullanılarak, elektrik motorlarının görünür güç, aktif güç, reaktif güç, çalışma verimleri, kompresöre aktarmış oldukları güç değeri hesaplanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Görünür güç, aktif güç ve reaktif gücün hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlikler (3.1), (3.2), (3.3)'den yararlanılmıştır;

$$\text{Reaktif Güç (Q)} = (\sqrt{3} \times V \times A \times \sin\alpha) / 1000 \quad (\text{kVAr}) \quad (3.1)$$

$$\text{Aktif Güç (P)} = (\sqrt{3} \times V \times A \times GF) / 1000 \quad (\text{kW}) \quad (3.2)$$

$$\text{Görünür Güç (S)} = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad (\text{kVA}) \quad (3.3)$$

V: Elektrik motorunun şebekeden çektiği gerilim (Volt)

A: Elektrik motorunun şebekeden çekilen akım (Amper)

GF: Güç faktörü

Tüm kompresörlerde yapılan ölçümler esnasında, sistemin davranışını değiştirecek çok büyük ani yük değişimlerinin olmadığı kabul edilmiş, ölçümler elektrik motorlarında kısa süreli değerler alınarak gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde, Fluke 435 Series II enerji analizörü kullanılmıştır. Alçak gerilim (400V) seviyesinden beslenen motorlarda gerilim, gerilim proplarının doğrudan motorun ana panosundaki besleme noktasına bağlanarak, motor akımı ise akım penci kullanılarak akım trafosu üzerinden ölçülmüştür. Tüm ölçümler, motorların normal çalışma esnasında mevcut kompresörü tahrik ederken yapılmıştır.

Fabrikada ultrasonik dedektörle basınçlı hava hatları taranarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarı "UE SYSTEMS UP 3000" ultrasonik sızıntı detektörü ile tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Cihazdan okunan dB değeri cihazın yazılımıyla hacimsel debiye dönüştürülmüştür.



Şekil 3.4. Ultrasonik sızıntı detektörü resmi.

Kompresörlerin elektrik motorlarına ait sahada gerçekleştirilen ölçüm sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kompresörlerde yapılan elektriksel ölçüm sonuçları.

Atlas Copco 1 nolu kompresör, Elektrik motoru ölçüm değerleri		
Aktif Güç (kW)	Emiş Hava Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)
199,70	21,5	8

Fabrikada ultrasonik dedektörle basınçlı hava taraması yapılarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Hava kaçaklarının tespit edildiği nokta adı, cihazın ölçtüğü dB değeri ve bu değere karşılık gelen tahmini kaçak debileri ve basınçlı hava kaçaklarının maliyetini hesaplamak için gerekli diğer değerler listelenmiştir. Basınçlı hava hatlarının uzunluğu nedeniyle basınçlı hava sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir. Basınçlı hava sızıntı ölçümleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Basınçlı hava sızıntı ölçümleri.

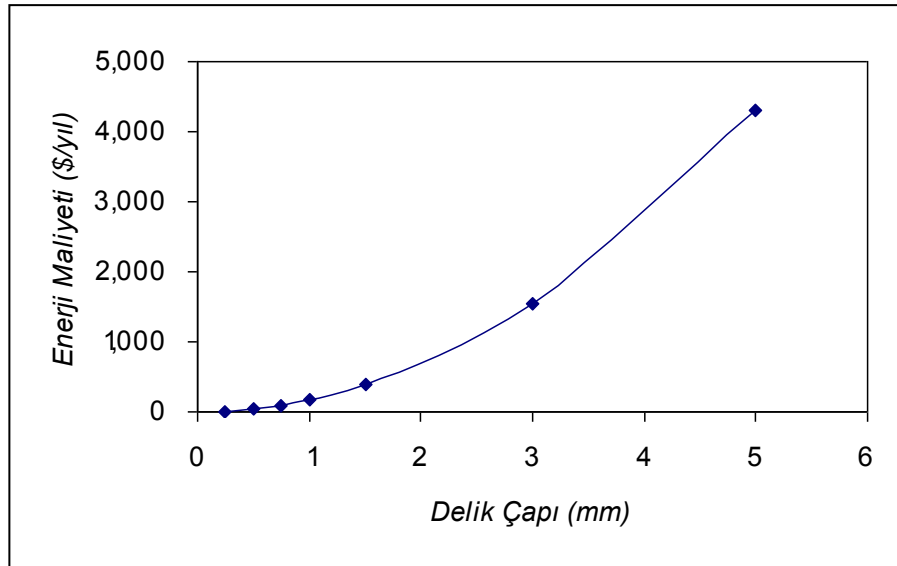
No	Ekipman Adı	Ölçüm değeri (dB)
1	Kompresörden çeneli kırıcılara çıkan basınçlı hava hattı	65
2	Kırıcı bölümü basınçlı hava tabancası (hattın kırıcılara girmeden önceki kısmında)	95
3	Çeneli kırıcı, çene üzerindeki yağlama hava hattı	95
4	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo üstü rakor	60
5	Kırıcı bölümü, yol tarafı patlaçlara giden hat	95
6	Kırıcı bölümü, yol tarafı enstruman hortumu	95
7	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo indirme hortumu	95
8	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo indirme hortumu	95
9	Siloya dışarıdan gelen çelik hat	95
10	Siloya dışarıdan gelen çelik hat	95
11	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	95
12	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	70
13	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	95
14	Yeni remas pinyon dişli yanı (enstruman)	95
15	20 metreküp cell küçük kompresör yanı rakor	95
16	Blower odasındaki hava panosu	75
17	Blower odasındaki sayaç (pano altı)	75
18	Filtre V2 vanası	93
19	10 metreküp cell çıkış vanası	65



### 3.2.3. Hesaplamalar

Basıncı hava kaçaklarının parasal değeri, atmosfer basıncındaki havanın kompresör çıkış (set) basıncına sıkıştırılması için gerekli enerji bedeline eşittir. Kaçak hava miktarı hat basıncına, basınçlı havanın kaçak noktasındaki sıcaklığına, kompresör emişindeki hava sıcaklığına ve havanın kaçtığı deliğin çapına bağlıdır. Bu nedenle kullanım yerinde gerekli asgari basınç tespit edilerek basınç regülatörleri ile düşürülmesi sızıntı kaçaklarının maliyetini de azaltacaktır. Ayrıca temizlik için kullanılan havanın basıncı da mutlaka düşürülmelidir.

Ayrıca basınçlı hava üzerinde hassasiyetle durulmalı ve kullanıcılar eğitilmelidir. Hava kaçaklarının artması nedeniyle kompresör çıkış basıncının düşürülmesi imkânsız hale gelmektedir. Bu da ikinci bir maliyet oluşturmaktadır. Kaçakların yeri insan kulağı ile bulunabildiği gibi bu amaçla geliştirilmiş Ultrasonik ses dedektörleri ile de tespit edilebilir. Detaylı denklemler bu analizin sonunda verilmiştir Basınçlı hava hattında tespit edilen basınçlı hava kaçaklarının maliyeti Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti.

Şekil 4.2' te görüldüğü üzere kayıp olan basınçlı hava miktarı delik çapının büyüklüğüyle eksponansiyel olarak artmaktadır [18]. Kaçaktan kaynaklanan güç kaybı için eşitlik (3.4) kullanılarak hesaplama yapılabilir.

$$\text{Güç Kaybı (kW)} = \{P_1 \times V_f \times [k/(k-1)] \times N \times [(P_o/P_1)^{(k-1)/(k \times N)} - 1]\} \div \{E_a \times E_m\} \quad (3.4)$$

Burada;

$V_f$  Kaçan hava debisi, m<sup>3</sup>/s

$k$  Havanın spesifik ısı oranı, 1,4

$N$  Kademe sayısı

$P_o$  Kompresör çalışma basıncı, kPa

$E_a$  Kompresör adyabatik verimi

$E_a$  0,88 tek zamanlı pistonlu kompresör

$E_a$  0,75 çok zamanlı pistonlu kompresör

$E_a$  0,82 vidalı kompresör

$E_m$  Kompresör motor verimi

Yıllık enerji kazancı aşağıdaki eşitlik (3.5) ile hesaplanır;

$$\text{Enerji Kazancı} = \text{Güç Kaybı} \times H \quad (3.5)$$

Burada,  $H$  = Hava hattının yıllık çalışma süresi

Yıllık maliyet kazancı aşağıdaki eşitlik (3.6) ile hesaplanır;

$$\text{Maliyet Kazancı} = (\text{Enerji Kazancı} \times \text{Birim kullanma Maliyeti}) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde hesaplanan basınçlı hava kaçaklarının maliyeti Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Basınçlı hava hattında tespit edilen kaçakların yıllık maliyeti.

No	Ekipman Adı	Ölçüm değeri (dB)	Hacimsel debi (lt/s)	Güç Kaybı(kW)	Enerji Kaybı (kWh)	Enerji Maliyeti (TL)
1	Kompresörden çeneli kırıcılara çıkan basınçlı hava hattı	65	2,47	0,44	3809,82	838,54
2	Kırıcı bölümü basınçlı hava tabancası(hattın kırıcılara girmeden önceki kısmında)	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
3	Çeneli kırıcı, çene üzerindeki yağlama hava hattı	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
4	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo üstü rakor	60	1,93	0,35	2975,22	654,84
5	Kırıcı bölümü, yol tarafı patlaçlara giden hat	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
6	Kırıcı bölümü, yol tarafı enstrüman hortumu	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
7	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo indirme hortumu	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
8	Kırıcı bölümü, yol tarafı silo indirme hortumu	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
9	Siloya dışarıdan gelen çelik hat	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
10	Siloya dışarıdan gelen çelik hat	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
11	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
12	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	70	3,02	0,54	4644,27	1022,20
13	Siloya dışarıdan gelen çelik hat (dirsek)	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
14	Yeni Remas pinyon dişli yanı (enstrüman)	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
15	20 metreküp cell küçük kompresör yanı rakor	95	5,14	0,93	7909,79	1740,94
16	Blower odasındaki hava panosu	75	3,65	0,66	5624,02	1237,84
17	Blower odasındaki sayaç (pano altı)	75	3,65	0,66	5624,02	1237,84
18	Filtre V2 vanası	93	5,03	0,91	7735,59	1702,60
19	10 m <sup>3</sup> cell çıkış vanası	65	2,47	0,44	3809,82	838,54
<b>TOPLAM</b>				<b>15,16</b>	<b>129 140,24</b>	<b>28423,68</b>

Kompresör emiş havası sıcaklığının azaltılması için yapılan hesaplamalar şu şekildedir:

1 nolu kompresörde alınan ölçümler neticesinde kompresör verimindeki azalma, güç kaybı, yıllık tasarruf miktarı ve enerji kaybının yıllık karşılığı aşağıda verilen eşitlikler (3.7), (3.8), (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14) ve (3.15) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Sıcaklık farkı} = \text{kompresör emiş sıcaklığı} - \text{dış ortam sıcaklığı} \quad (3.7)$$

$$\text{Sıcaklık farkı} = (21,5 - 8)[^{\circ}\text{C}] = 13,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Her 5 °C sıcaklık artışı kompresörün tükettiği elektrikte % 2 artışa sebep olmaktadır kabulüyle [16];

$$\text{Kompresör verimindeki azalma} = (\text{sıcaklık farkı})/4 = 13,5/4 = \% 3,38 \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \text{Kompresördeki güç kaybı} &= (\text{kompresörün çektiği güç} \times \text{kompresör verimindeki} \\ &\text{azalma})/100 \\ &= (199,70[\text{kW}] \times 3,38)/100 = 6,75 \text{ kW} \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \text{Kompresördeki güç kaybı} &= (\text{kompresörün çektiği güç} \times \text{kompresör verimindeki} \\ &\text{azalma})/100 \\ &= (199,70 [\text{kW}] \times 3,38)/100 = 6,75 \text{ kW} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Kompresördeki güç kaybı} &= (\text{kompresörün çektiği güç} \times \text{kompresör verimindeki} \\ &\text{azalma})/100 \\ &= (199,70 [\text{kW}] \times 3,38)/100 = 6,75 \text{ kW} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık enerji tasarrufu} &= \text{kompresördeki güç kaybı} \times \text{yıllık çalışma süresi} \\ &= 6,75 [\text{kW}] \times 8300 [\text{saat}] = 56025 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\text{Enerji kaybının yıllık mali karşılığı} =$$

$$56025 \text{ [kWh]} \times 0,2198 \text{ [TL/kWh]} = 12314,30 \text{ TL} \quad (3.13)$$

Enerji kaybının yıllık mali karşılığı=

$$56025 \text{ [kWh]} \times 0,2198 \text{ [TL/kWh]} = 12314,30 \text{ TL} \quad (3.14)$$

Yatırım Maliyeti = 20000 TL

Basit Geri Ödeme Süresi= (yatırım maliyeti)/(tasarrufun mali değeri)=

$$(20000 \text{ [TL]}) / (12314,30 \text{ [TL/yıl]}) = 1,62 \text{ yıl} \quad (3.15)$$

### 3.2.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Kompresör odasında, C blok Katında, değirmenlerde, basınçlı hava ana dağıtım hatlarında, cell tanklarındaki enstrümanlarda, filtre kısımlarında ultrasonik sızıntı dedektörü ile yapılan ölçümlerde enerji tasarrufu yapılabilecek kaçak noktaları tespit edilmiştir. Kaçaklardan kaybedilen enerjinin yıllık olarak toplam maliyeti 28423,68 TL'dir.olarak tespit edilmiştir. Belirlenen 19 noktada kaçaklar giderilerek 28423,68 TL'lik enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Basınçlı hava sisteminde meydana gelebilecek sızıntı kaçaklarının kolayca tespiti ve basınçlı hava sisteminin periyodik kontrolü için sızıntı dedektörü alınması önerilmektedir. Sızıntı dedektörünün yaklaşık maliyeti 6000 TL tutarındadır

Amortisman süresi hesaplanırken sızıntı dedektörü için öngörülen maliyet, sızıntılardan kaynaklanan yıllık enerji sarfiyatına bölünerek bulunmuştur. Bu yatırımın geri ödeme süresi 0,21 yıl olarak hesaplanmıştır.

Basınçlı hava sisteminde tespit edilen kaçaklarda gerekli bakım çalışması yapıldıktan sonra kompresör çıkışındaki basınçlı hava hattına online debimetre bağlanarak tesisin hava tüketimi sürekli izlenebilir. Tesisatta meydana gelebilecek kaçaklar online debimetreden kolaylıkla fark edilebilir. Yapılan bakım çalışmasının sürdürülebilir olması açısından online debimetre avantaj sağlayacaktır.

Kompresör debileri için gerekli online debimetre fiyatı ise hava çıkış çaplarına göre değişmekle beraber DN150 standardında ki borular için önerilen ürünün birim fiyatı 9250 TL'dir. X Fabrikası'nda 1 adet kompresör odası bulunduğundan 1 adet debi

ölçer yeterli olacaktır. Toplam yatırım maliyeti 9250 TL olan bu cihaz Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Örnek bir online debi ölçer cihaz resmi.

Yapılan incelemelerde Atlas Copco kompresör odasının çevre havasından ortalama 13,5 °C daha sıcak olduğu görülmüştür. Ayrıca sıcak yaz günlerinde güneş kaynaklı ısınmanın daha da etkili olacağı düşünülmektedir. Kompresörün emiş havasının sıcaklığının azaltılması kompresör veriminin artması anlamına gelmektedir.

Bu noktadan bakıldığında kompresör sistemi verimini artırma imkânı bulunmaktadır. Kompresör emişlerinin dış ortama alınması bu sorunun en basit çözümüdür. Kompresör odasının bu denli ısıtılmasında kompresörlerin ısınması etkili olduğu gibi kurutucuların atık ısının kompresör odasına bırakılması da etkili olmaktadır. Kompresör emişi bir kanal vasıtasıyla kompresör dairesi dışından yapılmalıdır. Kanalin yüzeyi ısı yalıtım malzemesiyle kaplanmalı böylelikle dışarıdan alınan soğuk havanın ısıtılmadan kompresöre emiş yapılması sağlanmalıdır. Basınçlı hava sistemine dair yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki durum ortaya çıkmıştır.

Örnek bir kompresör ve kurutucu emiş ve sıcak hava dışarı atma hatları resmi Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.7. Örnek bir kompresör resmi.

Basınç hava sistemi enerji tasarruf yatırımlarının geri ödeme süreleri Çizelge 3.8' de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Basınç hava sistemi yatırımlarının geri ödeme süreleri.

Önlem	Kazanılan Enerji	Maddi Kazanç	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	(kWh/yıl)	(TL/yıl)	(TL)	(yıl)
Sızıntıların Tespit ve Giderilmesi	129 140,24	28423,68	6000	0,21
Kompresör Emiş Havası Sıcaklığının Azaltılması	56025,00	12314,30	20000	1,62

### 3.3. ELEKTRİK MOTORLARI ARIZA ERKEN UYARI SİSTEMİ

#### 3.3.1. Ünite ve Sistem Tanımı

Tesiste bulunan çok sayıda elektrik motoru, potansiyel arızaları bünyelerinde bulundurmaktadır. Bu arızaları ortaya çıkmadan önce tespit ederek müdahalede bulunmak, üretim sürekliliği açısından önem arz etmektedir. Bir kısmı kayış-kasnak sistemiyle çalışan bu motorlarda özellikle rulman arızaları, eksen kayması, zemin gevşekliği vb. sorunlar, ilerleyen dönemlerde daha büyük sorunlara yol açabilmektedir.

Motor bazlı ekipmanların verimsiz çalışmasının en büyük sebebi, uygun olmayan çalışma koşulları (motorun dengesiz bir gerilim ile beslenmesi v.b.) ve ekipmanda bulunan başlangıç seviyesindeki aşınma ve anormalliklerdir. Henüz ekipmanın durmasına neden olacak ciddiyette olmayan bir arıza bile enerji verimliliğini önemli ölçüde etkileyerek işletme maliyetini artırabilir. Örneğin Amerikan enerji Bakanlığı'nın verilerine göre bir fanda kayış gevşekliği, sistem veriminde %5'e varan bir azalma meydana getirebilir. Bu da bir yılda, motor fiyatının yarısı kadar bir ek enerji maliyeti anlamına gelir. Bununla birlikte arıza başlangıçlarında ve uygun olmayan işletme koşullarında çalıştırılma nedeniyle ekipman veriminde % 35'e kadar azalma meydana gelebilir. Bir elektrik motorunun yaklaşık 40 günlük enerji tüketimi, motor fiyatına eşittir. Dolayısıyla bir elektrik motoru yıl boyunca satın alma maliyetinin 9 katı kadar elektrik faturasına sebep olur [19].

Kestirimci bakım faaliyeti motorun verimini artırmak ve etkinliğini devamlı halde tutmak için kullanılacak en ideal çözümlerden biridir. Pompa, fan, kompresör ve konveyör gibi oldukça fazla tipte sürülen ekipmana kestirimci bakım faaliyeti kapsamında Artesis AMT Arıza Erken Uyarı sistemi cihazı ile kontrol edilebilir.



İlerleyen dönemlerde ortaya çıkabilecek muhtemel motor arızalarını tespit etmek amacıyla örnekleme yöntemi kullanılarak Artesis AMS Arıza Erken Uyarı Sistemi ile mevcut motorlardan bazıları değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan motorlar için verimlilik analizleri yapılmış olup, ayrıca söz konusu sistemin tüm fabrika geneline yayılması durumundaki analizler de hesaplamalara eklenmiştir. Ölçümü yapılan ekipmanların listesi Çizelge 3.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Ölçümü yapılan ekipmanların listesi.

Sıra No	Ekipman Adı	Kurulu Güç (kW)
1	2-SI-01 Pompası	75
2	100 NP 01 Hava Üfleci	132
3	100 NP 02 Hava Üfleci	132
4	100 NT 02 Flotasyon Selülü	37
5	100 NT 03 Flotasyon Selülü	37
6	100 NT 04 Flotasyon Selülü	37
7	100 NT 06 Flotasyon Selülü	37
8	100 NT 07 Flotasyon Selülü	37
9	100 NT 08 Flotasyon Selülü	37
10	500 RP 6 Değirmen	200
11	600-AN-03 Siklon Pompası	110
12	AT Pompası 1	160
13	AT Pompası 2	160
14	AT Pompası 3	132
15	AT Pompası 4	132
16	AT Pompası 5	160
17	AT Pompası 6	160

Bu ekipmanların elektrik panosu üzerinden ölçümleri alınmıştır.

### 3.3.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

Artesis AMT Arıza Erken Uyarı sistemi, motordan aldığı elektriksel verileri, tüm dünyadaki motorlarla karşılaştırarak, ortalama değerlerdeki sapmalara göre

ekipmanın arıza durumunu ortaya koyan bir sistemdir. Motorlardan alınan değerlere örnek bir değer Çizelge 3.10' da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 100 NT 02 Flotasyon selülü Artesis verileri.

İsim	Değer
Güç Faktörü	0,1
Aktfi Güç (kw)	28
Reaktif Güç (kVAr)	13
Vrms (V)	383
Irms (A)	49
Frekans (Hz)	50
THD (%)	0,85
3.Harmonik (%)	0,2
5.Harmonik (%)	0,63
7.Harmonik (%)	0,34
9.Harmonik (%)	0,19
11.Harmonik (%)	0,06
13.Harmonik (%)	0,01

### 3.3.3. Hesaplamalar

Motorlarda yaşanan mekanik ve/veya elektriksel sorunların, motor verimliliğine etkileri Çizelge 3.11'de gösterilmiştir [19].

Çizelge 3.11. Motorlardaki arızaların motor verimliliğine etkisi.

Arıza	Verim Kaybı
Motor Sarımı	2,00 %
Stator Arızaları	2,00 %
Balanssızlık	0,40 %
Eksenel Kaçıklık	1,00 %
Rulman Arızaları	0,50 %
Kayış Sistemi	5,00 %
Harmonikler	1,00 %
V Harmonik	1,00 %
Akım/Gerilim Dengesizliği	3,00 %

100 NT 02 Flotasyon Selülü için Örnek Hesaplama;

Ekipmandaki kestirimci bakım sebebiyle ortaya çıkan verimlilik kaybı hesabı eşitlik (3.16), (3.17) ve (3.18) ile hesaplanır.

$$100 \text{ NT } 02 \text{ Flotasyon selülü için uyarılar} = \text{Stator Arızaları} \quad (3.16)$$

$$\text{Aktif Güç} = 28 \text{ kW}$$

$$\text{Stator arızaları için veri kaybı} = 2,00 \%$$

$$\text{Motor yüklenme faktörü} = 80 \%$$

$$\text{Tasarruf toplamı} = \text{Aktif güç} \times \text{Veri kaybı} \times \text{Motor yükleme faktörü} =$$

$$28 \text{ [kW]} \times 0,02 \times 0,8 = 3584,00 \text{ kW}$$

$$(3.17)$$

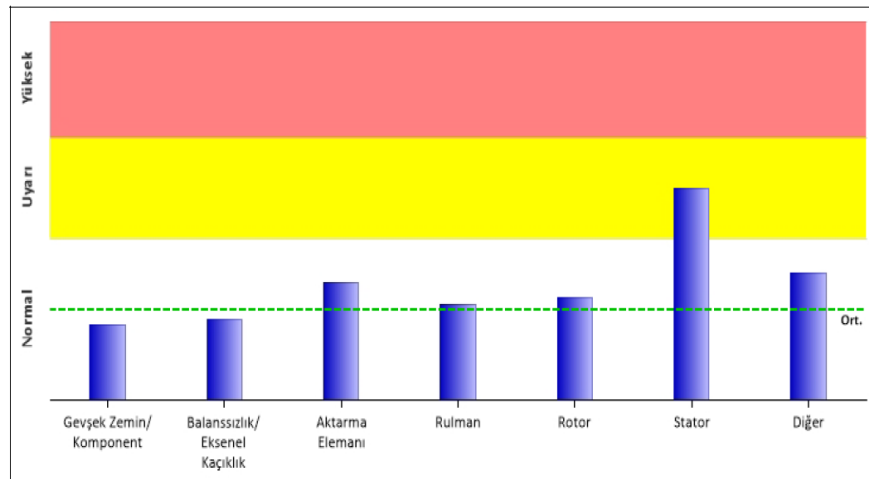
$$\text{Elektrik birim maliyeti} = 0,2198 \text{ TL/kWh}$$

$$\text{Tasarrufun mali değeri} = \text{Enerji tasarruf miktarı} \times \text{Elektrik birim maliyeti} =$$

$$3584,00 \text{ [kWh]} \times 0,2198 \text{ [TL/kWh]} = 788,84 \text{ TL}$$

$$(3.18)$$

Ölçümlere göre yapılan değerlendirme sonucu 100 NT 02 motorunun mevcut durumu Şekil 3.8'de arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 100 NT 02 flotasyon selülü sonuç diyagramı.

### 3.3.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Görüldüğü gibi bazı motorların rulmanları, statorları ve kayışları (aktarma elemanları) “Uyarı” ve “Yüksek” seviyelerde arıza göstermektedir. Ekipmanların arızalı operasyonu hem enerji verimliliğini düşürmekte hem de beklenmedik duruşlar ile üretim kayıplarına neden olmaktadır. Arızalı yada her an arıza çıkaracakmış gibi bir çalışma hali ise o ekipmanın ömrünü kayda değer miktarda düşürmesi, malzeme ve işletme giderlerini attırması, üretim kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesi gibi durumları da beraberinde getirmektedir [19].

Aşağıdaki Çizelgeler 3.12 ve 3.13 'te ölçüm kapsamında belirlenen kritik ekipmanlar ve bunların motorları ölçüm cihazı ile kontrol edilmiştir. Elde edilen verilere dayanılarak yapılması gereken bakıma ilişkin öneriler ve arızaların giderilmesiyle ortaya çıkabilecek enerjiye dayalı ortalama tasarruf miktarları belirtilmiştir.

Çizelge 3.12. Kestirimci bakım sonuçları ve öneriler-3 aylık.

Ekipman Adı	Durum/Açıklama	Tasarruf Miktarı
2-SI-01 Pülp Pompası	Aktarma elemanları arızaları 3 aydan içinde kontrol et	1901,66 TL
100 NP 01 Flotasyon Hava Üfleci	Aktarma elemanları arızaları 3 aydan içinde kontrol et	9860,48 TL
100 NT 07 Flotasyon Selülü	Kayış gevşekliği ekipman veriminde %5'e varan azalma yaratabilir.	14489,27 TL
100 NT 08 Flotasyon Selülü	Aktarma elemanları arızaları 3 aydan içinde kontrol et	845,18 TL
500 RP 6 Değirmeni	Aktarma elemanları arızaları 3 aydan içinde kontrol et	16643,08 TL
600-AN-03 Siklon Pompası	Aktarma elemanları arızaları 3 aydan içinde kontrol et	8399,72 TL
AT Pompası 1	Stator, rotor ve bağlantı gevşeklikleri nedeniyle ortaya çıkan ısınma hem motor verimini azalttığı gibi hem de yangın riski oluşturmaktadır. Aktarma elemanları arızaları 3 aydan geç olmamak şartıyla bir sonraki planlı bakımda kontrol edilmelidir.	14649,86 TL
AT Pompası 2		6317,75 TL
AT Pompası 3		5734,57 TL
AT Pompası 4		12829,89 TL
AT Pompası 5		7289,71 TL
AT Pompası 6		7289,71 TL
<b>TOPLAM</b>		<b>106 250,88 TL</b>

Çizelge 3.13. Kestirimci bakım sonuçları ve öneriler-6 aylık.

<b>Ekipman Adı</b>	<b>Durum/Açıklama</b>	<b>Tasarruf Miktarı</b>
100 NP 02 Hava Üfleci	Aktarma elemanları arızaları 6 aydan geç olmamak şartıyla bir sonraki planlı bakımda kontrol edilmelidir.	9959,08 TL
100 NT 02 Flotasyon Selülü	Stator, rotor ve bağlantı gevşeklikleri nedeniyle ortaya çıkan ısınma hem motor verimini azalttığı gibi hem de yangın riski oluşturmaktadır.	788,84 TL
100 NT 03 Flotasyon Selülü		901,53 TL
100 NT 04 Flotasyon Selülü	Aktarma elemanları arızaları 6 aydan geç olmamak şartıyla bir sonraki planlı bakımda kontrol edilmelidir.	3439,90 TL
100 NT 06 Flotasyon Selülü	Akım dengesizliği %3 ün üzerindedir. Elektriksel değerler beklenen aralığın dışındadır. Bu parametreler incelenmeli ve sebebi araştırılmalıdır.	3544,14 TL
<b>TOPLAM</b>		<b>18633,49 TL</b>

3 ay içerisinde kontrol edilmesi gereken ekipman sayısı : 12

6 ay içerisinde kontrol edilmesi gereken ekipman sayısı : 5

Artesis AMT kestirimci bakım cihazı ile izlenen ekipmanlarda mevcut arızaların giderilmesi halinde toplam 124 884,39 TL/Yıl tasarruf fırsatı bulunmuştur. Ekipman verimi sabit değildir, işletme koşulları içerisinde değişiklik gösterebilir. Bu nedenle ekipman durumunun belirli aralıklarla kontrol edilmesi ve tespit edilen olumsuzlukların başlangıç aşamasında giderilmesi, verimli operasyonun devamlılığını sağlamaktadır. Portatif bir kestirimci bakım cihazının yaklaşık maliyeti

60000 TL (20000 €) olup yatırım basit geri ödeme süresi 0,48 yıl mertebesindedir. Ölçüm yapılan motorlar için verimlilik analizleri aşağıda yapılmıştır. Ayrıca söz konusu sistemin tüm fabrika geneline yayılması durumdaki analizler de aşağıda verilmiştir. Ölçüm yapılan motorlar için verimlilik analizleri Çizelge 3.14' te verilmiştir.

Çizelge 3.14. Ölçüm yapılan motorlar için verimlilik analizleri.

Önlemler	Enerji Türü	Tasarruf Miktarı			Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
		Miktar (kWh)	TEP/ Yıl	TL/Yıl	TL	Yıl
Portatif Arıza Erken Uyarı Sistemi	Elektrik	567 398,40	48,80	124 884,39	60000	0,48

Buradaki kritik noktalardan birisi de, alınacak sistem ile yapılabilecek tasarrufun yanında, arızaların önceden tespit edilmesi sayesinde plansız duruşların ve buna bağlı olarak yaşanan üretim kayıplarının engellenmesi, motor sarım maliyetlerinin en aza indirgenmesi ve sarımdan kaynaklı motor verimi kayıplarının da engellenmesi sağlanacaktır.

### 3.4. POMPALAR

#### 3.4.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Atık su havuzunda birbirine seri bağlı çalışan 3 adet pompa ile atık su sevk edilmektedir. Toplam 6 adet pompa bulunmaktadır. Pompaların 3'ü aktif olarak çalışırken, 3'ü yedek beklemektedir. Atık su pompalarına ait resim Şekil 3.9' da verilmiştir.



Şekil 3.9. Atık su pompaları.

Fabrikanın taze su ihtiyacını karşılamak amacıyla deredeki barajdan suyu temiz su havuzuna basan 2 adet pompa bulunmaktadır. Pompalardan 1'i aktif olarak çalışmakta, diğeri yedek beklemektedir. Dere pompalarına ait resim Şekil 3.10' da verilmiştir.



Şekil 3.10. Dere pompaları görünümü.

### 3.4.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

X Fabrikası'ndaki pompalarda enerji verimliliği projesi kapsamında, fabrikada yapılan ölçümler elektriksel ve mekanik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Elektriksel ölçümler, pompaları tahrik eden elektrik motorlarından alınan ölçümleri kapsamaktadır. Mekanik ölçümlerde ise pompaların debi, basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Elektriksel ölçümlerde, pompaların motorlarında motorun besleme gerilimi, şebekeden çekmiş olduğu akım ve motorun güç faktörü ölçülmüştür. Ölçüm verileri kullanılarak, elektrik motorlarının görünür güç, aktif güç, reaktif güç, yüklenmeleri, çalışma verimleri ve pompaya aktarmış oldukları güç değeri hesaplanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Tüm pompalarda yapılan ölçümler esnasında, sistemin davranışını değiştirecek çok büyük ani yük değişimlerinin olmadığı kabul edilmiş olup ölçümler elektrik motorlarında kısa süreli değerler alınarak gerçekleştirilmiştir.

Elektrik ölçümlerinde kullanılan Fluke 435 model elektrik enerji analizörü resmi Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Fluke 435 model elektrik enerji analizörü.



Atık su pompalarına ait ölçüm sonuçları Çizelge 3.15' te verilmiştir.

Çizelge 3.15. Atık su pompaları ölçüm sonuçları.

1 Nolu Pompa İçin Ölçülen Değerler			
Aktif Güç (kW)	Pompa Debisi (m <sup>3</sup> / h)	Pompa Giriş Basıncı (bar)	Pompa Çıkış Basıncı (bar)
54,8	460	0,4	-
3 Nolu Pompa İçin Ölçülen Değerler			
Aktif Güç (kW)	Pompa Debisi (m <sup>3</sup> / h)	Pompa Giriş Basıncı (bar)	Pompa Çıkış Basıncı (bar)
54,8	460	0,4	-
5 Nolu Pompa İçin Ölçülen Değerler			
Aktif Güç (kW)	Pompa Debisi (m <sup>3</sup> / h)	Pompa Giriş Basıncı (bar)	Pompa Çıkış Basıncı (bar)
58,8	460	-	9,2

Dere pompalarına ait ölçüm sonuçları Çizelge 3.16 'da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Dere pompaları ölçüm sonuçları.

1 Nolu Pompa			
Aktif Güç (kW)	Pompa Debisi (m <sup>3</sup> / h)	Pompa Giriş Basıncı (bar)	Pompa Çıkış Basıncı (bar)
215	730	0,3	7,2
2 Nolu Pompa			
Aktif Güç (kW)	Pompa Debisi (m <sup>3</sup> / h)	Pompa Giriş Basıncı (bar)	Pompa Çıkış Basıncı (bar)
138	338	0,3	7,2

### 3.4.3. Hesaplamalar

Pompalarda verim hesapları yapılırken aşağıda verilen eşitlikler (3.19), (3.20), (3.21) ve (3.22) kullanılmıştır [20].

Yapılan kabuller;

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/s}$$

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newton.Metre}$$

$$1 \text{ Newton} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Formüller;

$$\text{Verim} = \frac{\text{Aktarılan güç}}{\text{Aktif güç}} = \frac{Q \times \Delta P}{P} = \frac{[\text{m}^3/\text{s}] \times \text{Pa}}{\text{Watt}} = \frac{[\text{m}^3/\text{s}] \times [\text{N/m}^2]}{[\text{Joule/s}]} = \frac{[\text{Nm/s}]}{[\text{Nm/s}]} \times 100 \quad (3.19)$$

#### Atık Su Pompaları Hesaplamaları

$$1, 3 \text{ ve } 5 \text{ Nolu Pompaların Verimi} = \frac{\text{akışkana aktarılan güç}}{\text{aktif çekilen güç}} =$$

$$\frac{460 [\text{m}^3/\text{h}] \times (9,2 - 0,4) [\text{bar}] / 36 \times 100}{169,10 [\text{kW}]} = \% 66,50 \quad (3.20)$$

#### Dere Pompaları Hesabı

$$1 \text{ Nolu Dere Pompası Verimi} = \frac{\text{akışkana aktarılan güç}}{\text{aktif çekilen güç}} =$$

$$\frac{730 [\text{m}^3/\text{h}] \times (7,2 - 0,3) [\text{bar}] / 36 \times 100}{215 [\text{kW}]} = \% 65,08 \quad (3.21)$$

$$2 \text{ Nolu Dere Pompası Verimi} = \frac{\text{akışkana aktarılan güç}}{\text{aktif çekilen güç}} =$$

$$\frac{338 [\text{m}^3/\text{h}] \times (7,2 - 0,3) [\text{bar}] / 36 \times 100}{138 [\text{kW}]} = \% 46,94 \quad (3.22)$$

#### 3.4.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda 2 nolu dere pompasının verimi % 46,94 çıkmıştır. 1 nolu dere pompası ile karşılaştırdığımızda 2 nolu dere pompası veriminin oldukça düşük çıktığı görülmüştür. 1 nolu dere pompasının sürekli çalıştırılması, 2 nolu dere pompasının yedekte bekletilmesi enerji tasarrufu açısından önem arz etmektedir. 2 nolu dere pompasının verimi düşük olması nedeniyle aynı debiyi basmak için daha fazla enerji tüketecektir. İşletme esnasında bu konuya dikkat edilmesi oldukça önemlidir.

Atık su pompaları çıkışındaki debi ölçer dirsek ve vanalara yakın biçimde montaj edilmiştir. Debimetrelerin düzgün sonuç okuyabilmesi için laminer akışın olduğu noktalara monte edilmesi gerekmektedir. Atık su pompaları çıkışındaki debimetrenin bağlandığı noktada akış türbülanslı (dirsek ve vanalara yakın olması nedeniyle) olduğundan, debimetre düzgün değerler okuyamamaktadır.

Debimetre mevcut yerinden sökülerek 3-4 metre pompa çıkışlarından uzaklaştırılırsa akışın laminer olacağı bölgeye geleceğinden debimetrenin okuduğu değerlerde değişkenlikler olmayacaktır. Diğer bir ifadeyle debimetre düzgün sonuç verecektir.

### 3.5. DEĞİRMENLER

#### 3.5.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Cevher sahasından gelen ham madde kırıcılar ve eleklerden geçirildikten sonra ince cevher silolarına toplanmaktadır. Hammadde buradan vibro besleyiciler ve konveyör bantlarla değirmenlere sevk edilirler. Değirmenlerde ise öğütme işlemi gerçekleştirilmektedir. Fabrikada 3 grup değirmen bulunmaktadır. 1. Grupta iki adet bilyalı değirmen bulunmaktadır. 2. Grupta 1 adet çubuklu, 2 adet bilyalı (RF-02, RF-05, RF-06) değirmen bulunmaktadır. 3. Grupta 1 adet çubuklu, 2 adet bilyalı (RF-01, RF-03, RF-04) değirmen bulunmaktadır. Değirmenlerden çıkan öğütülmüş hammadde flotasyona tabi tutulmak üzere cellere gönderilmektedir.

#### 3.5.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

Yapılan ölçümler ve alınan değerler Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Yapılan ölçümler ve alınan değerler.

RF-05 Değirmeni Aktif Güç (kW)	Değirmene yüklenen yarı mamul miktarı (ton/h)
275,7	24
RF-06 Değirmeni Aktif Güç (kW)	Değirmene yüklenen yarı mamul miktarı (ton/h)
105,6	24,1

#### 3.5.3. Hesaplamalar

Her iki değirmende yaklaşık aynı kütlede yarı mamul öğütülürken elektrik motorlarının çekmiş olduğu güçler eşitlik (3.23), (3.24), (3.25), (3.26) ve (3.27) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{RF - 5 Değirmenindeki enerji tasarruf potansiyeli} &= (\text{RF - 05 Aktif gücü}) - \\ (\text{RF - 06 Aktif gücü}) &= 275,7 - 105,6 = 170,10 \text{ kW} \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \text{RF - 5 Değirmenindeki yıllık enerji tasarruf potansiyeli} &= 170,10 \text{ [kW]} \times \\ 4.150 \left[ \frac{\text{h}}{\text{yıl}} \right] &= 705 915 \text{ kWh/yıl} \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \text{RF - 5 Değirmenindeki tasarrufun mali değeri} &= 705 915 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{yıl}} \right] \times \\ 0,2198 \left[ \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} \right] &= 155 160,12 \text{ TL/yıl} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\text{Yatırım maliyeti} = 260 500,00 \$ = 260 500 \times 2,1958 = 572 005,90 \text{ TL} \quad (3.26)$$

$$1\$ = 2,1958 \text{ TL}$$

$$\text{Yatırım maliyeti} = 572 005,90 \text{ TL}$$

$$\begin{aligned} \text{Basit geri ödeme süresi} &= \frac{572 005,90}{155 160,12 \text{ [TL/yıl]}} = 3,69 \\ (3.27) \end{aligned}$$

#### **3.5.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları**

RF-5 değirmeninin elektrik motoru RF-6 ile kıyaslandığında daha yüksek enerji tüketmektedir. Bunun temel nedeni olarak RF-5 değirmenine sonradan montajı yapılan elektrik motoru gösterilebilir. RF-5 elektrik motorunun verimsizliği nedeniyle RF-6 ile aynı miktarda yarı mamul öğütülürken fazladan enerji safiyatı meydana gelmektedir. RF-5 için sonradan alınan elektrik motoru sökülerek, sarımdan gelen eski motorun takılmasıyla ortalama 170 kW'lık güç tasarrufu sağlanabilir. Bu durumda yedekte bekletilmek üzere yüksek verimli bir elektrik motoruna ihtiyaç duyulacaktır. Elektrik motorundaki herhangi bir arıza durumunda yeni alınacak yüksek verimli elektrik motoru değirmene bağlanarak üretim devam ettirilebilir. Şu anda üzerinde bulunan elektrik motoru tamamen devre dışı bırakılmalıdır.

RF-5 değirmeni elektrik motoru değıştirilerek yapılabilecek enerji tasarrufu 155 160,12 TL/yıl' dır. Yedek olarak alınacak yüksek verimli elektrik motoru yatırım miktarı 572 005,90 TL ve yatırımın geri ödeme süresi 3,69 yıl'dır.

Değirmenlerdeki en önemli problemlerden biri de yağmurlu günlerde yüklenen hammaddenin ıslanarak konveyör bantlara dökülememesi ve tıkanmaya sebep olmasıdır. Değirmenlere ait hammadde yükleme skada ekranı incelendiğinde, özellikle yağmurun yağdığı günlerde değirmenlere yüklenen hammadde miktarının kesikli şekilde gerçekleştiği görülmektedir.

Bu durumun temel sebebi; maden ocaklarından getirilen ve stok sahasında açıkta bekletilen hammaddenin ıslanarak ince cevher silolarının altında, vibro besleyicilerin girişinde tıkanma yapmasıdır. Bu noktalar tıkanığında konveyör bantlara hammadde dökülemediğinden değirmenlere besleme yapılamamaktadır. Değirmenlere hammadde yüklenememesine rağmen değirmen enerji tüketmeye devam etmektedir. Bu durum özgül enerji tüketimini ve enerji maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır.

### 3.6. ELEKTRİK

#### 3.6.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Etüt çalışması sırasında fabrika genelinde civa buharlı, sodyum buharlı ve metal halide armatürlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Mevcutta bulunan armatürlerin, çok daha verimli olan “LED armatürlerle değiştirilmesi” ile ilgili analizler Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Mevcut aydınlatma bilgileri.

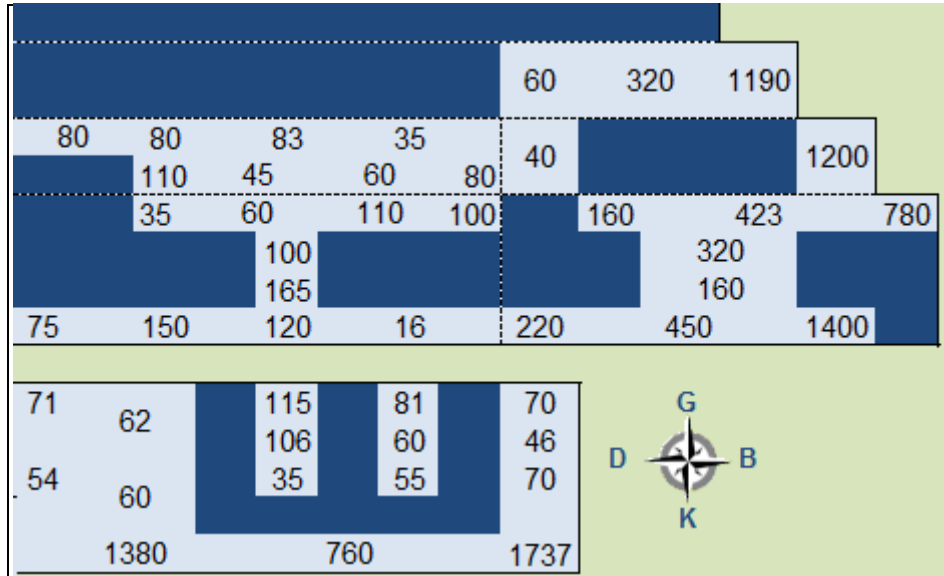
Bölüm	Armatür Tipi	Armatür Sayısı	Armatür İçindeki Lamba Sayısı	Birim Lamba Gücü	Toplam Armatür Gücü	Günlük Çalışma Saati
-	-	(adet)	(lamba)	(W)	(W)	(saat/gün)
Trafo Merkezi	Floresan	20	2	40,00	1600,00	-
Kompresör Dairesi	Civa	4	1	400,00	1600,00	-
Ürün stok alanı	Civa	15	1	400,00	6000,00	12,00
B blok Katı	Civa	2	1	400,00	800,00	12,00
B blok Katı	Metal Halide	2	1	400,00	800,00	12,00
C blok Katı	Civa	24	1	400,00	9600,00	24,00
Değirmen Katı	Civa	55	1	400,00	22000,00	24,00
F blok Katı	Sodyum	30	1	250,00	7500,00	24,00
TOPLAM		152	-	-	49900,00	

#### 3.6.2. Yapılan Ölçümler ve Alınan Değerler

Fabrikann çeşitli noktalarından aydınlık seviyesi (lüks) ölçümleri alınmıştır. Alınan değerler incelendiğinde fabrika genelindeki aydınlık seviyelerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. “6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 30 uncu maddesine dayanılarak ve Avrupa Birliğinin 30/11/1989 tarihli ve 89/654/EEC sayılı

Konsey Direktifine paralel olarak hazırlanan” ve 17 Temmuz 2013 tarihli ve 28710 sayılı Resmi Gazete Ek-1’de yayımlanmış olan İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik’in 22. Madde’sine göre “İşyerlerinin aydınlatmasında TS EN 12464-1: 2013; TS EN 12464-1:2011: 2012; standartları esas alınır.”

Elektrik Mühendisleri Odası’nın (EMO) yayımlanmış olduğu ve EN 12464-1:2011 standardına göre hazırlanmış olan En Az Aydınlık Seviyeleri Çizelgesi’ne göre, tesisine benzer faaliyet gösteren kimya sektöründe “sürekli insan müdahalesi ile işletilen tesisler” deki en az aydınlık seviyesi 300 lux olmalıdır. Aşağıdaki ölçüm sonuçlarından da görülebileceği üzere fabrikadaki aydınlık seviyeleri oldukça düşüktür ve ilgili standartların altında kalmaktadır. Fabrikadaki aydınlık seviyeleri Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Fabrikadaki aydınlık seviyeleri.

Bu durum, EN 12464-1:2011 standardına aykırılık oluşturmaktadır. Ayrıca çalışanların iş performansı düşürmekte ve kaza risklerini artırmaktadır. Bu yüzden, fabrika geneli için detaylı bir aydınlatma projesinin hazırlanıp uygulanarak, yeterli aydınlık seviyelerine ulaşılması sağlanmalıdır.



### 3.6.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Armatürlerin Elisolar LED armatürlerle değiştirilmesi ile ilgili analizler Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Aydınlatma değişimi bilgileri.

Bölüm	Önerilen Armatür	Armatür Sayısı	Armatür İçindeki Lamba Sayısı	Birim Lamba Gücü	Toplam Lamba Gücü	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
-	-	(adet)	(lamba)	(W)	(W)	(TL)	(TL)
Trafo Merkezi	-	20	2	40,00	1600,00	-	-
Kompresör Dairesi	-	4	1	400,00	1600,00	-	-
Ürün stok alanı	150W LedluxLed	15	1	150,00	2250,00	1010	15150,00
B blok Katı	150W LedluxLed	2	1	150,00	300,00	1010	2020,00
B blok Katı	150W LedluxLed	2	1	150,00	300,00	1010	2020,00
C blok Katı	150W LedluxLed	24	1	150,00	3600,00	1010	24240,00
Değirmen Katı	150W LedluxLed	55	1	150,00	8250,00	1010	55550,00
F blok Katı	100W LedluxLed	30	1	100,00	3000,00	830	24900,00
<b>TOPLAM</b>	-	<b>152</b>	-	-	<b>20900</b>	-	<b>123 880</b>

Mevcut armatürlerin LED armatürlerle değiştirilmesi durumundaki tasarruf potansiyelini gösterebilmek için mevcut armatürler ile yaklaşık aynı aydınlatma seviyesine sahip armatürler seçilmiştir. Elisolar firmasının yerinde yapacağı incelemeler ve keşif sonucu, önerilen armatürlerde ve armatür birim fiyatlarında değişiklik olabilir.

Yukarıdaki tabloda 1 \$ = 2,1958 TL alınmıştır. Bu bölgedeki armatürler, yalnızca arıza durumlarında veya bakım işlemleri için açıldığından, yıllık çalışma süreleri oldukça düşüktür. Bu nedenle, bu armatürlerin değişimleri kendisini çok uzun sürede geri ödeyecektir. Bu armatürlerin değişimi önerilmemektedir.

Aydınlatma armatürlerinin değişim analizi ise Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Aydınlatma değişimi tasarruf analizi.

		Ürün stok alanı ve B blok Katı	C blok Katı, Değirmen Katı ve F blok Katı	TOPLAM
Aydınlatma Kullanımı Gün Sayısı (gün/yıl)	:	360	360	-
Aydınlatma Kullanımı Günlük Saat Sayısı (saat/gün)	:	12	24	-
Aydınlatma Yıllık Çalışma Saat Sayısı (saat/yıl)	:	4.320	8.640	-
Mevcut Aydınlatma Kurulu Gücü (kW)	:	7,60	39,10	46,70
Balast Kaybı (% 20) (kW)	:	1,52	7,82	9,34
Tesisat Kaybı (% 5) (kW)	:	0,38	1,96	2,34
Mevcut Durumda Yıllık Tüketim (kWh/yıl)	:	41040,00	422 280,00	463 320,00
Elisolar Sistemi Aydınlatma Kurulu Gücü (kW)	:	2,85	14,85	17,70
Balast Kaybı (% 0) (kW)	:	0,00	0,00	0,00
Tesisat Kaybı (% 5) (kW)	:	0,14	0,74	0,89
Elisolar Sistemi Yıllık Tüketim (kWh/yıl)	:	12927,60	134 719,20	147 646,80
Fiziksel Tasarruf Miktarı (kWh/yıl)	:	28112,40	287 560,80	315 673,20
Fiziksel Verimlilik (%)	:	68,50%	68,10%	68,13%
Elektrik Birim Fiyatı (2014) (TL/kWh)	:	0,2198	0,2198	0,2198
Yıllık Tasarruf Miktarı (TL/yıl)	:	6179,43	63209,18	69388,61
Yıllık Lamba-Balast Değişimi Maliyeti (TL/yıl)	:	253,33	1453,33	1706,67
Yıllık Toplam Tasarruf Miktarı (TL/yıl)	:	6432,76	64662,51	71095,27
Yatırım Miktarı (TL)	:	19190,00	104 690,00	123 880,00
Geri Ödeme Süresi (yıl)	:	2,98	1,62	1,74

### 3.6.4. Öneriler, Enerji Tasarrufu İmkanları ve Miktarları

71000 TL'lik bir verimlilik sağlanabilen aydınlatma değişimi analizi Çizelge 3.21' de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Aydınlatma değişimi analizi.

Önlemler	Enerji	TASARRUF MİKTARI			CO <sub>2</sub> AZALMA MİKTARI Ton/yıl	YATIRIM MALİYET TL/yıl	GERİ ÖDEME SÜRESİ Yıl
		Miktar (kWh)	TEP/yıl	TL/yıl			
Aydınlatma Armatürlerinin LED Armatürlerle Değişimi	Elektrik	315 673,20	27,15	71095,27	210,55	123 880,00	1,74
TOPLAM	Elektrik	315 673,20	27,15	71095,27	210,55	123 880,00	1,74

## BÖLÜM 4

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

#### 4.1. SONUÇLAR

Tez çalışmasında, bir fabrikada gerçekleştirilen enerji verimliliğine dair ölçümlerin metodolojisi, ölçüm aletleri, ölçüm sonucunda elde edilen veriler ve bu veriler yardımıyla hesaplanan enerji verimliliğine yönelik tasarruf tedbirleri detaylı olarak sunulmuştur. Çalışma neticesinde elde edilen bulgular bu bölümde verilmiştir.

Kompresör odasında, C blok Katında, değirmenlerde, basınçlı hava ana dağıtım hatlarında, cell tanklarındaki enstrümanlarda, filtre kısımlarında ultrasonik sızıntı dedektörü ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre 19 farklı noktada 129 140,24 kWh/yıl tasarruf potansiyeli belirlenmiştir. Bu kaçakların giderilmesi ile 28423,68 TL/yıl enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Basınçlı hava sisteminde meydana gelebilecek sızıntı kaçaklarının kolayca tespiti ve basınçlı hava sisteminin periyodik kontrolü için sızıntı dedektörü alınması uygun olacaktır.

Sızıntı dedektörünün yaklaşık maliyeti 6000 TL tutarındadır. Amortisman süresi hesaplanırken sızıntı dedektörü için öngörülen maliyet, sızıntılardan kaynaklanan yıllık enerji sarfiyatına bölünerek bulunmuştur. Bu yatırımın geri ödeme süresi 0,21 yıl olarak hesaplanmıştır.

Kompresör odasının çevre havasından daha sıcak olduğu görülmüştür. Ayrıca sıcak yaz günlerinde güneş kaynaklı ısınmanın daha da etkili olacağı düşünülmektedir. Kompresörün emiş havasının sıcaklığının azaltılması kompresör veriminin artması anlamına gelmektedir. Bu noktadan bakıldığında kompresör sistemi verimini artırma imkânı bulunmaktadır. Kompresör emişlerinin dış ortama alınması bu sorunun en

basit çözümdür. Kompresör emişi bir kanal vasıtasıyla kompresör dairesi dışından yapılmalıdır. Bu önlemin alınmasıyla elde edilecek enerji tasarrufu 56025,00 kWh/yıl' dır. Tasarrufun mali değeri 12314,30 TL/yıl ve yatırım maliyeti 20000 TL'dir. Yatırımın basit geri ödeme süresi 1,62 yıl' dır.

Kestirimci bakım cihazı ile izlenen ekipmanlarda mevcut arızaların giderilmesi halinde toplam 567 398,40 kWh/yıl enerji tasarruf imkanı bulunmaktadır. Tasarrufun mali değeri 124 884,39TL/yıl olarak hesaplanmaktadır. Ekipmanların verimi sabit değildir, işletme koşulları içerisinde değişiklik gösterebilir. Bu nedenle ekipman durumunun online olarak izlenmesi ve tespit edilen olumsuzlukların başlangıç aşamasında giderilmesi, verimli operasyonun devamlılığını sağlayacaktır. Bu sebeple portatif bir kestirimci bakım cihazının temin edilmesi uygun olacaktır. Portatif bir kestirimci bakım cihazının yaklaşık maliyeti 60000 TL olup yatırımın basit geri ödeme süresi 0,48 yıl mertebesindedir.

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda 2 nolu dere pompasının verimi % 46,94 çıkmıştır. 1 nolu dere pompası (% 65,08 verim) ile karşılaştığımızda 2 nolu dere pompası veriminin oldukça düşük çıktığı görülmüştür. 1 nolu dere pompasının sürekli çalıştırılması, 2 nolu dere pompasının yedekte bekletilmesi enerji tasarrufu açısından önem arz etmektedir. 2 nolu dere pompasının verimi düşük olması nedeniyle aynı debiyi basmak için daha fazla enerji tüketecektir. İşletme esnasında bu konuya dikkat edilmesi oldukça önemlidir.

RF-5 değirmeni elektrik motoru değiştirilerek yapılabilecek enerji tasarrufu 705 915,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 155 160,12 TL/yıl'dır. Eski elektrik motorunun yerine alınması önerilen yüksek verimli elektrik motoru yatırım miktarı 572 005,90 TL ve yatırımın geri ödeme süresi 3,69 yıl' dır.

Değirmenlerde yapılan incelemelerde en önemli problemlerden biri tıkanmaların olması ve bu durumun sürekli üretimi engellemesi olduğu görülmüştür. Özellikle yağmurlu günlerde yüklenen hammadde düzenli bir şekilde konveyör bantlara dökülmemektedir. Bu durum üretim ve enerji kayıplarına sebebiyet vermektedir. Gerek üretilen birim mamul başına enerji tüketiminin azaltılması gerekse işçi

sağlığının korunması açısından maden ocaklarından getirilen hammaddenin yağmurdan en az etkilenecek şekilde stoklanması önem arz etmektedir. Ayrıca, üretilen mamul miktarının azalmaması ve üretimin sürekliliğinin sağlanması açısından stok sahalarının üzerinin kapatılarak hammaddenin yağışlardan korunması önerilmektedir.

Mevcut armatürlerin çok daha verimli olan LED armatürlerle değiştirilmesi enerji tasarrufu açısından büyük önem taşımaktadır. Hesaplamalardan da görülebileceği üzere 315 673,20 kWh/yıl tasarruf sağlamakla birlikte, geri ödeme süreleri de oldukça düşüktür. Bu yüzden bu değişimin yapılması önerilmektedir. Yatırım maliyeti 123 880,00 TL'dir. Tasarrufun mali değeri ise 71095,27 TL/yıl'dır. Basit geri ödeme süresi 1,74 yıl'dır.

Toplamda bu etüt sonucunda 1 774 151 kWh'lik elektrik enerjisi tasarrufu sağlayacak iyileştirme önerileri sunulmuş olup bunların yıllık bazda getirileri toplamı 391 878 TL olmuştur. Bu kazanım için harcanması gereken yatırım tutarı ise 781 886 TL olup bunun geri ödeme süresi yaklaşık 1,99 yıl olmuştur.

## **4.2. ÖNERİLER**

Bu çalışmada bir işletmede yardımcı servisler olarak nitelendiren ekipmanlardan bazıları incelenmiştir. Ancak yanma olayının olduğu bir ünite yada ekipman incelenememiştir. Dolayısıyla başka bir tez çalışmasında kazan yada fırın gibi yanma olayının olduğu bir fabrika ortamında yanma kaynaklı verimsel kayıplar ve tasarruf odakları üzerine çalışma yapılabilir. Ayrıca daha farklı hesaplama yöntemleri ve/veya daha fazla enerji verimliliği sağlayabilecek öneriler de farklı bir çalışma konusu olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: TÜBİTAK, "Türkiye'nin Enerji Teknolojileri Vizyonu", [http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/01\\_btyk26\\_web.pdf](http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/01_btyk26_web.pdf) (2013).
2. Hepbaşlı, A., Günerhan, H. ve Ülgen, K., "Enerji yönetim sisteminin altın anahtarları: enerji denklığı ve enerji tasarrufu etüdü", *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 110-115 (2001).
3. Chand, G. and Shirvani, B., "Implementation of TPM in cellular manufacture", *Journal of Materials Processing Technology*, 103 (3): 149-154 (2000).
4. Dorhofer, F. and Heffington, W. M., "Electrical energy monitoring in an industrial plant", *16th Annual Industrial Energy Technology Conference*, Texas, 85-91 (1994).
5. Schumacher, K. and Sathaye, J., "India's cement industry: productivity, energy efficiency and carbon emissions and environmental energy technologies division the environmental science division", *Office of Biological and 213 Environmental Research Report*, 45-92 (1999).
6. Daloğlu, Ş., "Endüstriyel enerji verimliliği metodolojisi ve çimento sektöründe uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-29 (2007).
7. Kaya, D. ve Güngör, C., "Sanayide enerji tasarruf potansiyeli-II", *Mühendis ve Makine*, 515 (1): 147-153 (2002).
8. Nurettin, Y., Salih, C. ve Muhiddin, C., "Tekstil sanayinde atık ısıdan yararlanılarak enerji tasarrufunda klasik sistem ile ısı pompasının karşılaştırılması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12 (1): 52-59 (2007).
9. Budak, E., Cansevdi, B. ve Güngör, A., "Su soğutma cihazlarında enerji verimliliği ve ısı geri kazanımı", *Tesisat Mühendisliği*, 139 (7): 45-62 (2014).
10. Ning, Z. and Jong-Dae, K., "Measuring sustainability by energy efficiency analysis for Korean power companies: a sequential slacks-based efficiency measure", *Sustainability*, 6 (2): 1414-1426 (2014).
11. İnternet: Energy and Mines Ministers, "Energy Efficiency Update 2014: Economic Benefits of Responsible Energy Use", [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/www/pdf/publications/emmc/14-0176\\_Energy%20Eficiency%20Update%202014\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/www/pdf/publications/emmc/14-0176_Energy%20Eficiency%20Update%202014_e.pdf) (2014).

12. Lalatendu, P., "The influence of operational parameters on boiler performance: an exergy analysis", *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 7 (5): 1489-1496 (2014).
13. Juslen, H., "Lighting and productivity in the industrial working place", *Proceedings of Fifteenth International Symposium*, Slovenia, 112-136 (2006).
14. Turhan, F., "Endüstriyel bir buhar kazanında enerji verimliliği ve çevresel etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 36-62 (2012).
15. Çengel, Y. A. and Çerçi, Y., "Opportunities to save energy in industry", *12. Turkish National Conference on Thermal Sciences and Technologies with International Participation*, Sakarya, 392-399 (2000).
16. Karataş, M. A., "Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği: bir çelik fabrikasının basınçlı hava denetleme çalışması", *Tesisat Mühendisliği*, 132 (6): 24-31 (2012).
17. İnternet: Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, "Enerji Verimliliği Örnek Projeleri", <http://www.pw.com.tr/ss/upload/upload2263.pdf> (2010).
18. Kaya, D., Saraç, H. İ. ve Olgun, H., "Energy saving in compressed air systems", *The Fourth International Thermal Energy Congress*, Çeşme, 69-74 (2001).
19. Tabak, A., "Ekipmanlarda kestirimci bakım teknolojilerinin araştırılması ve seçilen bir yöntemin uygulandığı sanayi tesisinde elde edilen neticelerin irdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 24-36 (2014).
20. İnternet: Vansan Makina Sanayi, "Değişken Devirli Pompa Seçimi", <http://www.vansan.com.tr/docs/degisken.pdf> (2002).

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İzmit Kocaeli'nde doğdu. İlköğretimini Ulugazi İlkokulu'nda, orta ve lise eğitimini ise Kocaeli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1998-2002 yılları arasında yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2002-2004 yılları arasında Manchester İngiltere'de yaşadı. Burada Manchester Metropolitan University'de İşletme Yüksek Lisans derecesini tamamladı. 2005-2007 yılları arasında Tempa Pano San. ve Tic. A.Ş.'de üretim ve ihracat sorumlusu olarak görev aldı. 2007-2012 yılları arasında TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi'nde Uzman Araştırmacı olarak çalıştı. Eylül 2012 tarihinde Karabük Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve bu görevini halen sürdürmektedir. Evli ve iki çocuk babası olan yazar, iyi derecede İngilizce bilgisine sahiptir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (532) 704 7025

E-posta : selmancagman@karabuk.edu.tr