



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİR SÜT İŞLETME TESİSİNİN
ENERJİ ETÜDÜ**

İsmail Buğrahan ÖZSAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak- 2024

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

..... tarafından hazırlanan “.....”
adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile
Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
..... Anabilim Dalı’nda YÜKSEK
LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı
kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

İsmail Buğrahan ÖZSAN

Tarih: 15.01.2024

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****BİR SÜT İŞLETME TESİSİNİN ENERJİ ETÜDÜ****İsmail Buğrahan ÖZSAN****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT****2023, 98 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT****Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN****Dr. Öğr. Üyesi Sadık ATA**

Yapılan bu çalışmada muhtelif süt ürünleri üreten bir tesisinin enerji etüdü yapılmıştır. Enerji etüdü yapılan tesiste 2020-2022 yılları arasında ortalama 44378 ton/yıl üretim gerçekleştirildiği, bunun için 1423 TEP/yıl elektrik ve 4223 TEP/yıl doğalgaz enerji tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre işletmenin hedef enerji tüketim değeri 5141 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre işletmede %9,3 enerji tasarrufu yapılabileceği anlaşılmıştır. Tesisin enerji verimliliğini artıracak projelerin geliştirilmesi amacıyla enerji analizörü ile elektrik ölçümleri, basınçlı hava debimetresi ile basınçlı hava debi ölçümleri, termal kamera ile sıcaklık tespitleri, yüzey sıcaklık probu ile yüzey sıcaklıkları tespiti, baca gazı analizörü ile baca gazı analizleri, ultrasonik sıvı debimetresi ile sıvı akışkan debi ölçümleri, ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava kayıpları, pitot tüpü ile basınç ölçümü ve pervane hız probu ile çizgisel hız ölçümleri yapılmıştır. Kazanlarda, elektrik motorlarında, pompalarda, soğutma sistemlerinde, basınçlı hava sistemlerinde, fan sistemlerinde ve aydınlatma sistemlerinde yapılan ölçümlere göre enerji tasarruf projeleri öngörülmüştür. Önerilen projeler sonucu 5360 TEP/yıl enerji tasarrufu sağlanabileceği tespit edilmiştir. Bu değer mevcut enerji tüketiminin %5,4'üne karşılık gelmektedir. Sonuç olarak işletmede uygulanacak projeler sonunda aylık 4102 ton üretim değerinin altında işletmenin hedef tasarrufa ulaşamayacağı ve bu üretim değerinin altı için yeni tasarruf projelerinin geliştirilmesi gerektiği, bu değer üzerinde üretim değerleri için hedef tasarruf değerinin sağlandığı hatta daha fazla tasarruf sağlanabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Basit Geri Ödeme süresi, Enerji Etüdü, Enerji Tasarruf Hedefinin Belirlenmesi, Enerji Tasarrufu Projeleri, Süt Tesisi

ABSTRACT**MS THESIS****ENERGY AUDIT OF A MILK PROCESSING PLANT****İsmail Buğrahan ÖZSAN****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING****Advisor: Dr. Öğr. Fatih AKKURT****2023, 98 Pages****Jury****Dr. Fatih AKKURT****Dr. Fatih AYDIN****Dr. Sadık ATA**

In this study, an energy audit of a facility producing various dairy products was conducted. It was determined that the facility, where an energy audit was conducted, produced an average of 44378 tons/year between 2020-2022, with an energy consumption of 1423 TEP/year of electricity and 4223 TEP/year of natural gas. According to the data obtained, the target energy consumption value of the enterprise was determined as 5141 TEP/year. According to this result, it was understood that 9.3% energy saving could be achieved in the enterprise. In order to develop projects that will increase the energy efficiency of the facility, electrical measurements with energy analyzer, compressed air flow measurements with compressed air flowmeter, temperature detection with thermal camera, surface temperature detection with surface temperature probe, flue gas analysis with flue gas analyzer, liquid fluid with ultrasonic liquid flowmeter. Flow rate measurements, relative humidity rate with indoor air quality probe, compressed air losses with ultrasonic leak detector, pressure measurement with pitot tube and linear velocity measurements with fan speed probe were made. Energy saving projects are foreseen according to measurements made in boilers, electric motors, pumps, cooling systems, compressed air systems, fan systems and lighting systems. It has been determined that 5360 TEP/year energy savings can be achieved as a result of the proposed projects. This value corresponds to 5.4% of the current energy consumption. As a result, at the end of the projects to be implemented in the enterprise, it has been understood that the target savings of the enterprise cannot be achieved below the monthly production value of 4102 tons and that new savings projects must be developed for below this production value, and that the target savings value is achieved for production values above this value and even more savings can be achieved.

Key Words: Dairy Facility, Determination of Energy Saving Target, Energy Audit, Energy Saving Projects, Simple Payback Period

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmasında, bir süt fabrikasının enerji etüdü gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel tesise ait genel tüketimler, enerji tüketimine neden olan kaynaklar, makinalar ve mekanizmalar incelenmiştir. Belirlenen alanlar üzerinde gerçekleştirilebilecek proje ve uygulamalar sunulmuştur. Sunulan projelerin ekonomik analizi ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca tecrübe, bilgi ve birikimi ile bana rehberlik eden ve daima desteklerini hissettiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT'a teşekkür ederim.

Bu çalışmamda tesislerinin imkanlarından faydalandıran ve desteklerini esirgemeyen kıymetli işletme yöneticilerine teşekkür ederim.

Her koşul ve şartta beni destekleyen, azim ve gayretlerimi, varlıkları ve çabaları ile güçlendiren aileme sevgi, saygı ve teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım.

İsmail Buğrahan ÖZSAN

OCAK – 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
Kısaltmalar	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Yönetimi.....	1
1.2. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verileri	2
1.3. Türkiye Enerji Hedefleri.....	3
1.4. Süt Endüstrisi ve Enerji Kullanımı.....	3
1.5. Enerji Verimliliği ve Tasarrufu	4
1.6. Enerji Yönetimi.....	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL METOD	15
3.1. Endüstriyel Tesis Bilgileri	15
3.2. Enerji Tasarruf Projelerinin Belirlenmesi	15
3.2.1. Enerji Analizörü	17
3.2.2. Basınçlı Hava Debimetresi	18
3.2.3. Termal Kamera	19
3.2.4. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Problemleri	21
3.2.5. Baca Gazı Analizörü.....	22
3.2.6. Ultrasonik Sıvı Debimetre	23
3.2.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	24
3.2.8. Pervane Hız Probu ve Pitot Tüpü	24
3.3. Hedef Doğru Denklemine Oluşturulması	27
4. ETÜT BULGULARI	28
4.1. Kazanlar	28
4.1.1. Kazan Ölçüm ve Analizleri	32
4.1.2. Tasarruf Önerileri.....	38
4.2. Yalıtım	39
4.2.1. Yalıtım Ölçüm ve Analizleri	42

4.2.2. Tasarruf önerileri	43
4.3. Kompresörler.....	47
4.3.1. Kompresör Ölçüm ve Analizleri.....	51
4.3.2. Tasarruf önerileri	58
4.4. Elektrik Motorları	59
4.4.1. Elektrik Motorları Ölçüm ve Analizleri	60
4.4.2. Tasarruf Önerileri	64
4.5. Pompalar	65
4.5.1. Pompa Ölçüm ve Analizleri	68
4.5.2. Tasarruf önerileri	75
4.6. Soğutma	75
4.6.1. Soğutma Ölçüm ve Analizler	76
4.6.2. Tasarruf önerileri	79
4.7. Fan Sistemleri.....	80
4.7.1. Fan Ölçüm ve Analizler.....	82
4.7.2. Tasarruf önerileri	88
4.8. Aydınlatma Sistemleri.....	88
4.8.1. Aydınlatma Ölçüm ve Analizler.....	89
4.8.2. Tasarruf önerileri	90
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	91
ÖNERİLER	93
6. KAYNAKLAR	94

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

m_b = Ölçülen Buhar Debi Miktarı (kg/h)

i_b = Buhar Entalpisi (kcal/kg)

m_s = Ölçülen Su Debi Miktarı (kg/h)

i_s = Besi Suyu Entalpisi (kcal/kg)

B = Ölçülen Yakıt Miktarı (kg/h)

H_u = Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)

BD = Blöf Miktarı (%)

S_f = Besi suyunun iletkenlik değeri (ppm)

S_b = Kazan suyunun iletkenlik değeri (ppm)

Q = Atık ısı miktarı (kcal)

m = Hava/Su Debi (kg/h)

c_1, c_2 = Hava/Su özgül ısı (kcal/Nm³°C)

T_1, T_2 = Isı transferi gerçekleşecek akışkan sıcaklıkları (°C)

$-k$ = Isı İletim Katsayısı

A = Isı Geçişine Dik Alan

dT / dx = Sıcaklık Gradyanı

T_2 = İç Ortam Sıcaklığı (K)

T_1 = Dış Ortam Sıcaklığı (K)

U = Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m²K)

q = Işınım Isı Transferi

σ = Boltzman Sabiti ($5,67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴)

ε = Yüzey Malzeme Neşretme Katsayısı ($0 < \varepsilon < 1$)

T_2 = Yüzey Sıcaklığı (K)

T_1 = Yüzeye Tesir Eden Sıcaklık (K)

U = Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m²K)

R_i = İletim ile Oluşan Isıl Geçirgenlik Katsayısı

R = Yüzey Isıl Geçirgenlik Katsayısı

R_e = Taşınım ile Oluşan Isıl Geçirgenlik Katsayısı

L = Toplam Kaçak Miktarı (lt/sn)

Q = Kompresör Kapasitesi (lt/sn)

t_1 = Yükte Çalışma Süresi (sn)

t = Yüksüz Çalışma Süresi (sn)

L = Toplam Kaçak Miktarı (lt/sn)

P_1 = Normal Çalışma Basıncı (bar)

P_2 = Düşük Basınç (bar)

V = Borularda ki Hava Miktarı (lt)

T = Zaman (sn)

V_f = Kaçan hava debisi, m^3/s

K = Havanın spesifik ısı oranı, 1,4

N = Kademe sayısı

P_0 = Kompresör çalışma basıncı

$kPa E_a$ Kompresör adiyabatik verimi

E_m = Kompresör motor verimi

P = Pompa shaft gücü,

kW (Efektif güç)

ρ = Akışkanın yoğunluğu, kg/m^3

g = Yerçekimi ivmesi, $9,81 m/s^2$

Q = Debi, m^3/s

H = Toplam diferansiyel yükseklik,

$m\eta$ = Pompa verimi

$V = Hız (m/s)$

$A = Kesit Alanı (m^2)$

ϕ = Işık Akısı

E = Aydınlık Düzeyi

$C_d = Işık Şiddeti$

Kısaltmalar

GJ	Giga Joule
TWH	Terawatt saat
O ₂	Oksijen
CO ₂	Karbondioksit
COP	Coefficient of Performance (Soğutma Performans Katsayısı)dB Desibel
Hz	Hertz
hPa	Hekto Pascal
kg	Kilogram
kCal	Kilo kalori
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt saat
m ²	Metre kare
m ³	Metre küp
Nm ³	Normal metre küp
sn	Saniye
Sm ³	Standart metre küp
°C	Derece santigrat
Y/Δ	Yıldız / Üçgen
AB	Avrupa Birliği
BGÖS	Basit geri ödeme süresi
CDD	Cooling Degree Days (Soğutma Gün Dereceleri)
CUSUM	Cumulative Sum (Kümülatif Toplam)
DN	Diameter Nominal (Nominal Çap)
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development (Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası)
EnYS	Enerji Yönetim Sistemi

ESCO	Energy Service Company (Enerji Servis Şirketi)
EVD	Enerji Verimliliği Danışmanlığı
HDD	Heating Degree Days (Isıtma Gün Dereceleri)
ISO	International Organization for Standardization
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TL	Türk Lirası
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TurSEFF	Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı
VAP	Verimlilik Arttırıcı Proje
VSD	Variable Speed Drive (Değişken Hız Sürücüsü)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Küresel Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketim Oranları	2
Şekil 1.2. Türkiye'nin Birincil enerji üretiminin yerli kaynaklar bazında dağılımı ...	3
Şekil 3.1. Enerji Analizörü	18
Şekil 3.2. Basıncılı Hava Debimetresi	19
Şekil 3.3. Termal Kamera	20
Şekil 3.4. Testo – 435	21
Şekil 3.5. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Probu	21
Şekil 3.6. Baca Gazı Analizörü	22
Şekil 3.7. Ultrasonik Sıvı Debimetre	23
Şekil 3.8. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	24
Şekil 3.9. Testo – 440 DP ve Probları	25
Şekil 3.10. 2020-2022 Arası Ortalama Enerji Tüketimlerinin Enerji Türlerine Göre Dağılımı.....	26
Şekil 3.11. Standart Doğru ve Hedef Doğru.....	27
Şekil 4.1. Selnikel Kazan ve Teta Kazan.....	33
Şekil 4.2. Örnek Isı Yalıtım Çalışması	40
Şekil 4.3. Örnek bir Sankey Diyagramı	50
Şekil 4.4. Delik Çapı Değişkeni ile Enerji Kaybı Artışı	55
Şekil 4.5. Elektrik motorlarının sektörlere göre enerji tüketim oranları	59
Şekil 4.6. Elektrik Motorları Enerji Verimlilik Sınıfları	60
Şekil 4.7. Enerji analizörü ile elektrik motorlarında aktif güç ölçümü.....	60
Şekil 4.8. Pompa Ömür Boyu Maliyet	65
Şekil 4.9. Pompa Karakteristik Eğrisi ve Çalışma Noktası	66
Şekil 4.10. RO Besleme Pompası	68
Şekil 4.11. 800 tonluk kule pompası.....	69
Şekil 4.12. Vakum altı soğutma kulesi pompası.....	69
Şekil 4.13. Pompalarda ultrasonik sıvı debimetresi ile debi ölçümü.....	70
Şekil 4.14. Pompalarda enerji analizörü ile aktif güç ölçümü	70
Şekil 4.15. Chiller çalışma prensibi	76
Şekil 4.16. Farklı Fan Hızları için Fan Performans Eğrileri	81
Şekil 4.17. Eksenel Fanın Çalışma Noktası	81
Şekil 4.18. Eksenel Fanların Kararlı ve Kararsız Çalışma Karakteristiği	82

Şekil 4.19. Baca fanları.....	83
Şekil 5.1. Standart, hedef ve proje sonrası denklem ve doğruları	93



TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Ülkelerin Enerji Verimliliği Puan Sıralaması	5
Tablo 3.1. Referans Değerler Tablosu.....	16
Tablo 3.2. Enerji Etüdünde Kullanılan Cihazlar	17
Tablo 3.3. Enerji Analizörü Teknik Özellikleri	18
Tablo 3.4. Basınçlı Hava Debimetre Teknik Özellikleri	19
Tablo 3.5. Termal Kamera Teknik Özellikler	20
Tablo 3.6. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Probu Teknik Özellikleri	22
Tablo 3.7. Baca Gazı Analizörü Teknik Özellikleri	22
Tablo 3.8. Ultrasonik Sıvı Debimetre Teknik Özellikler	23
Tablo 3.9. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü Teknik Özellikler	24
Tablo 3.10. Testo – 440 DP ve Probların Teknik Özellikleri	25
Tablo 3.11. İşletmenin 2020-2022 Arası Üç Yıllık Ortalama Üretim ve Enerji Tüketim Değerleri	26
Tablo 4.1. Buhar kazanları su giriş sıcaklığı, buhar çıkış sıcaklığı ve basıncına ait bilgiler	32
Tablo 4.2. Buhar kazanları baca gazı analizi sonuçları	34
Tablo 4.3. Buhar kazanlarının verimi.....	34
Tablo 4.4. Teta kazanının yanma ayarı uygulamasıyla öngörülen kazan verimi	35
Tablo 4.5. Teta buhar kazanı yüzdesel ölçüm değerleri	35
Tablo 4.6. Teta buhar kazanına yanma ayarı uygulaması yapılmasıyla elde edilebilecek enerji tasarrufu hesabı	36
Tablo 4.7. Selnikel buhar kazanı baca gazı atık ısı potansiyeli hesabı.....	36
Tablo 4.8. Selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılmasıyla öngörülen besi suyu sıcaklığı hesabı.....	37
Tablo 4.9. Selnikel buhar kazanının ekonomizer ile öngörülen net enerji tasarrufu potansiyeli hesabı	37
Tablo 4.10. Teta buhar kazanının birincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının ikincil kazan olarak uygulamasıyla öngörülen yıllık enerji tasarruf potansiyeli	38
Tablo 4.11. Yalıtım Prosesi Referans Değerleri.....	42
Tablo 4.12. Vanalarda izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı	44
Tablo 4.13. Hatlarda izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı	46
Tablo 4.14. Yüzeylerde izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı	46
Tablo 4.15. Kompresör ÖET Değerine Göre Enerji Verimliliği Değerlendirmesi ...	47

Tablo 4.16. Kompresör tiplerine göre spesifik güç tüketim değer aralıkları	48
Tablo 4.17. Değişik Basınç ve Çaplarda Hava Kaçak Miktarları	49
Tablo 4.18. Kompresörlerden alınan bilgi ve ölçümler.....	52
Tablo 4.19. Kompresörlerin spesifik enerji tüketimleri	52
Tablo 4.20. Özen kompresör ve dalgakıran kompresörünün spesifik enerji tüketimleri daha düşük kompresörler ile değiştirilmesiyle öngörülen enerji tasarrufu hesabı	54
Tablo 4.21. Basınçlı hava kaçaklarının enerji kaybı	56
Tablo 4.22. Elektrik motorları etüt bilgileri	61
Tablo 4.23. Elektrik Motorları Tasarruf Miktarları.....	63
Tablo 4.24. Motor gücü için seçilecek katsayı	68
Tablo 4.25. Pompalardan alınan bilgi ve ölçümler.....	71
Tablo 4.26. Pompaların akışkan gücü ve sistem verimi.....	72
Tablo 4.27. Sistem verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalar ile değişimiyle sağlanabilecek enerji tasarrufu potansiyeli hesabı.....	74
Tablo 4.28. Chillerin kompresör sayısı, soğutma kapasitesi ve fan sayısı bilgileri ...	77
Tablo 4.29. Chillerlerden alınan bilgi ve ölçümler.....	78
Tablo 4.30. Chillerlerin soğutma yükü ve COP değerinin belirlenmesi	78
Tablo 4.31. Fanlardan alınan bilgi ve ölçümler	84
Tablo 4.32. Fanlara ait akışkan gücü ve sistem verimi.....	87
Tablo 4.33. Sistem verimi düşük fanların daha verimli fanlar ile değiştirilmesi ile öngörülen yıllık enerji tasarrufu potansiyeli hesabı	87
Tablo 4.34. İşletmeye ait aydınlatma bilgileri.....	89
Tablo 4.35. Armatürlerin Tasarruf Potansiyeli Hesabı	90
Tablo 5.1. Tasarruf Projeleri Toplu Sonuçları.....	92
Tablo 5.2. Mevcut, hedeflenen ve proje sonrası aylık enerji tüketim değerleri	92

1. GİRİŞ

1.1. Enerji Yönetimi

Dünya üzerinde stratejik planlamalar için en çok paya sahip olan konu enerjidir. Ekonomi girdileri, yönetsel anlayışlar, tabiat dengesi, coğrafi üstünlükler neticesinde günümüz dünyasında mevcut üretkenliği artırmak ve yaşam koşullarını daha etkin hale getirmek için AR-GE çalışmaları enerji üzerine odaklanmıştır. Sanayilerde, ofislerde, evlerde ve canlı hayatının her kademesinde ihtiyaç duyulan enerji, günümüzde maliyetleri ve ulaşılabilirliği artarak devam etmektedir. Enerji ihtiyacının makul fiyatlarda temin edilmesi ve verimli kullanılması önem kazanmıştır. Tekstilden, otomotiv sektörüne, imalattan, gıda sektörüne her alanda ihtiyacımız olan enerjiyi ürün maliyetlerimizi düşürmek ve sürdürülebilir bir dünya için enerji kaynaklarını verimli kullanma yöntemlerini benimsemelidir. Gelişen teknoloji dünyasında her geçen gün mevcut sistemlerin iyileştirilmesi ve verimi yüksek teknolojik sistemlerin entegre edilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde enerji verimliliği çalışmalarına verilen önem her geçen gün artmaktadır. Genel enerji tüketimlerinin incelenmesi, bu tüketimlerin hangi prosten kaynaklandığının tespit edilmesi ve yenilikçi projelerin gerçekleştirilmesi ile tasarruf edilebilecek hem enerji miktarları hem de mali kazançlar çok daha önem teşkil etmektedir. Fabrikalarda, endüstriyel tesislerde, işletmelerde, konutlarda ve yaşam döngüsü içerisindeki her alanda enerjiyi verimli kullanmanın bilinci artmaktadır. Bu bilinç ile hareket edilince konfor alanı ve refah düzeyi artmakta, ekonomik kazançlar sağlanmakta, maliyet ve giderler azalmaktadır. Ayrıca enerji verimliliğinin çevresel etkileri de doğrudan hedef alması sebebiyle iklimsel öncelikleri korumak için en kullanışlı yöntemlerden biri olarak görülmektedir. Özellikle endüstriyel tesislerde bir birim ürün üretilmek için tüketilen enerji miktarının ve maliyetinin her geçen gün artması, sektörel düzeyde ticari rekabeti olumsuz etkilemekte ve küresel iklim sonuçlarını doğrudan hedef almaktadır.

Enerji verimliliği çalışmalarını, verim artırıcı projeleri ve ekonomik analizleri doğru metot ve uygulamalar ile tasarlamak çok önemlidir. Gereklilikleri tam ve doğru uygulanarak tasarlanmış bir Enerji Yönetim Sistemi ile planlanan verim artırıcı projeler birbirini desteklemelidir. Bunun yanı sıra bu iyileştirme projelerini etkileyen ilgili değişkenler de önemlidir. Üretim, imalat, tedarik, lojistik ve diğer tüm alanlarda iş akışını

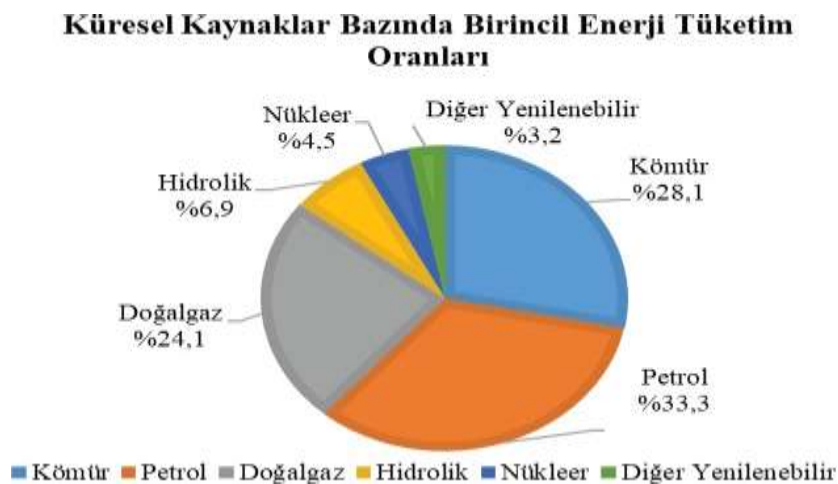
etkileyen ilgili değişkenler baz alınarak doğru sonuçlara ulaşılabılır. Tüm bu çalışmalar ile bir birim ürün üretmek için tüketilen enerji miktarı, enerji maliyeti ve potansiyel enerji tasarruflarının tespiti mümkündür. Bu enerji tasarrufunun sürekliliği için projeler ile birlikte uygun bir Enerji Yönetim Sisteminin gerekliliği zaruridir.

1.2. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verileri

Enerji kaynakları, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere enerji kullanımı açısından iki grupta değerlendirilir. Birincil enerji kaynakları ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Birincil enerji kaynakları ikincil enerji kaynakları elde edilebilmek için kullanılan enerji kaynağı olarak tarif edilmektedir.

İkincil enerji kaynaklarına buhar, elektrik, basınçlı hava ve benzeri enerji türleri örnek olarak gösterilebilir. Birincil enerji kaynaklarını doğrudan kullanarak veya ikincil enerji kaynağına dönüştürerek sanayide, ulaşımda, konutlarda, yaşam alanlarında, proses ısıtmalarında, proses işlemlerinde, genel ısıtma, soğutma ve iklimlendirme ihtiyaçlarında, aydınlatma da ve birçok alanda iş üretebilmekte veya yaşamsal döngü sağlanabilmektedir.

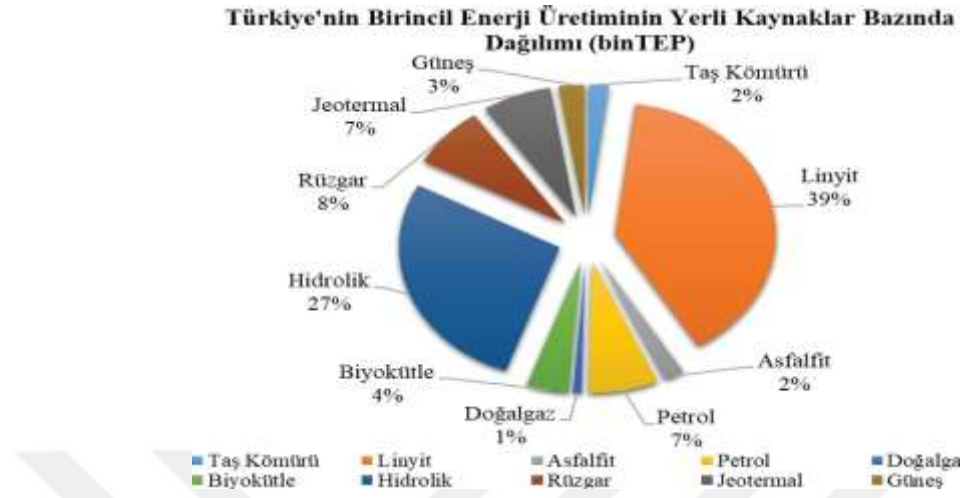
Dünya genelinde 2016 yılı sonu itibari ile enerji kaynakları incelendiğinde küresel enerji kullanım miktarı 13,147 Milyar TEP olarak tespit edilmiştir ve Türkiye ise 126,9 Milyon TEP enerji tüketimi ile Dünya genelinin %1’lik payını üstlenmiştir. 2016 yılına ait birincil enerji tüketim miktarları şekil 1.1. de gösterilmiştir. (Koç ve ark., 2018)



Şekil 1.1. Küresel Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketim Oranları (Koç ve ark., 2018)

Türkiye de birincil enerji üretimi açısından değerlendirildiğinde birçok kaynaktan

faaydalanılmaktadır. Şekil 1.2. de ise T¼rkiye'nin Birincil enerji ¼retiminin yabancı kaynaklar bazında dağılımları gösterilmektedir (Koç ve ark., 2018).



Şekil 1.2. T¼rkiye'nin Birincil enerji ¼retiminin yerli kaynaklar bazında dağılımları (Koç ve ark., 2018)

1.3. T¼rkiye Enerji Hedefleri

Enerji yoğunluğunu düş¼rmek, enerji de olan ithalat girdisini en aza indirmek, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ¼retim ve tüketim içerisindeki paylarının artırılması gibi amaçlar doğrultusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı yayınlanmaktadır. 2023 yılı hedefleri olarak;

T¼rkiye'nin elektrik enerjisi ihtiyacının 500 milyar kwh olacağı tahmin edilmektedir. Elektrik enerjisinde kurulu gücü 100.000 MW'a çıkarmak hedeflenmektedir.

- R¼zgar enerjisindeki kurulu gücü 20.000 MW'a çıkarmak istenmektedir. (Karen, 2022)
- 2022 yılında revize edilen rapor ile birlikte;
- Birincil enerji tüketimi 205,3 MTEP 'e yükselmekte Enerji yoğunluğu %35,3 oranında azalmakta
- Elektrik tüketimi 510,5 TWh'e ulaşmakta olduğu tespit edilmektedir.
- Sıfır Emisyon hedefi doğrultusunda 2035 yılına kadar hedef planı bu şekilde ele alınmıştır. (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 e)

1.4. S¼t End¼strisi ve Enerji Kullanımı

Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü tarafından yapılan bir

araştırmaya göre, Çiğ süt üretim miktarı 2021 yılında 23,2 milyon ton olarak tespit edilmiştir. 2021 yılında bir önceki yıla istinaden %5,6 oranında azalış olduğu tespit edilmiştir (Ataseven, 2022).

Süt ve Süt Ürünleri İmalatı Kaynak Verimliliği Rehberi tarafından 2016 yılında yayınlanan raporda, Enerji tüketim düzeyi üretilen ürün ve kullanılan hatlara göre değişiklik gösterdiği ifade edilmiştir. Sütün konsantre edilmesi ve kurutulmasını gerektiren ürünler (örneğin tereyağı) enerji yoğun süreçlerle üretilir. Diğer yandan, içme sütü üretimi en düşük enerji tüketimine karşılık gelen üründür. Dünya üzerinde yapılan çalışmalarda farklı süt işleme tesislerinde enerji tüketim düzeyleri işleme tesisinin teknolojik tipine göre incelenmiştir. Modern kazan sistemine ve yenilemeli yüksek verim pastörizatöre sahip modern fabrikalarda enerji tüketimi 0,34 GJ/ton olarak tespit edilmiştir. İşleme için sıcak su kullanımına sahip fabrikalar için 0,50 GJ/ton, eski tip buhar tabanlı fabrika için 2,00 GJ/ton ve pek çok fabrika için ortalama enerji tüketimi 0,5-1,2 GJ/ton olarak tespit edilmiştir. İrlanda’ da çeşitli süt ürünleri üreten bir işletmede yapılan araştırmaya göre tereyağı üretimi için 363 kWh/ton, peynir üretimi için 814 kWh/ton, süt tozu üretimi için 4012 kWh/ton, peynir altı suyu tozu üretimi için 4613 kWh/ton, kazein üretimi için 6803 kWh/ton enerji tüketiminde bulunduğu tespit edilmiştir (Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2016).

1.5. Enerji Verimliliği ve Tasarrufu

Dünya üzerinde artan enerji tüketimleri, hızla tükenmekte olan fosil kaynaklar, tüketim ve üretimden kaynaklı oluşan karbon emisyon faktörleri, sera gazı salınımları ve tüketim artışına istinaden yaşanan kaynak azalışı sebebi ile artan enerji maliyetleri, günümüzde enerji verimliliği çalışmalarını hızla artırmıştır.

Enerji verimliliği, belirli bir enerji tüketimi neticesinde üretilen ürün veya katma değer için daha az enerji tüketimi ile gerçekleştirilmesini ifade eder. Ürün çıktısı ile girdiler arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Verimlilik dinamik bir ölçüt olmakla beraber üretim süreci ile ilgili değişkenleri iyi analiz etmek gerekmektedir.

Enerji verimliliği, tüketilen enerjiyi optimal kullanmayı hedefler. Enerji tüketimi ile sağlanan, üretim, konfor, yaşam standartları ve döngüsel ekonomi değerlerinden kalite ve etkinliğini kaybetmeksizin sağlanan çıktılar enerji verimliliği çalışmaları minimum maliyet ve enerji sarfiyatı ile sağlamak enerji verimliliği çalışmalarının temel amacıdır.

Enerji tasarrufu ise tüketilen enerjiyi en aza indirmektir. Enerji tasarrufu

çalışmaları ile ürün çıktısı arasında doğru orantı oluşmaktadır. Enerji tasarrufu, 10 birim enerji ile 6 birim ürün çıkarılan bir döngüde beş birim enerji tüketimi ile 3 birim ürün çıktısı elde edileceğini ön görmektedir. Enerji tasarrufunda tüketilen enerjide yapılacak indirgemeler ile ürün çıktısında yaşanacak azalmalar birlikte gözlenir. Bu nedenle enerji verimliliği ile enerji tasarrufu arasında farklılıklar oluşmaktadır. Enerjinin optimal kullanılması için her ikisi de ayrı öneme sahiptir. Örneğin binalarda ve yaşam alanlarımızda enerji tasarrufu ön plana çıkarken, endüstriyel tesislerde enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır.

Dünya genelinde yapılan bir çalışmada ülkelerin, enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği kıyaslama çalışmaları yapılmıştır. Gelişmiş ülkelerin enerji tüketimlerinin fazla olmasının yanı sıra tükettikleri enerji verimli kullanmaları, enerji yoğunluklarının yüksek olması dikkat çekmiştir. Tablo 1.1. de Ülkelerin enerji verimliliği açısından ülke puan sıralaması gösterilmiştir (Uzun, 2021).

Tablo 1.1. Ülkelerin Enerji Verimliliği Puan Sıralaması (Uzun, 2021)

Sıralama	Ülke Adı	Ülke Puanı
1	Almanya	75,50
2	İtalya	75,50
3	Fransa	73,50
4	Birleşik Krallık	73,00
5	Japonya	67,00
6	İspanya	65,50
7	Hollanda	65,00
8	Çin	59,50
9	Tayvan	57,00
10	Kanada	55,50
11	ABD	55,50
12	Meksika	54,00
13	Güney Kore	52,50
14	Polonya	51,00
15	Hindistan	50,50
16	Türkiye	50,00
17	Endonezya	45,00
18	Avustralya	40,50
19	Ukrayna	38,00
20	Brezilya	36,50

Enerji verimliliğinin ve tasarrufunun ülkemiz açısından büyük öneme sahip olduğu görülmektedir. Elektrik, buhar, doğalgaz, petrol ve benzeri enerji türlerinden sağlanan üretim ve yaşam konforu ile ciddi bir maliyetde beraberinde gelmektedir. Endüstride oluşan maliyetler sıralamalarında son zamanlarda enerji maliyetleri hızla üst sıralara

doğru ilerlemektedir. Üretim maliyeti, ham madde maliyeti ve işçi maliyeti gibi gider kalemlerinde günümüzde enerji maliyeti daha çok dikkat çekmekte ve etki etmektedir. Bu nedenle enerji tüketimlerinde sağlanacak tasarruf veya verimlilik çalışmalarının %1 etkisinin bile çok önem arz ettiği düşünülmektedir (Uzun, 2021).

1.6. Enerji Yönetimi

Endüstriyel işletmelerde birçok enerji kaynakları tüketimi ile karşılaşmaktayız. Kömür, doğalgaz, elektrik, fueloil, dizel, mazot ve benzeri farklı türde enerji kaynakları kullanımı sağlanmaktadır. İkincil enerji üretimi amaçlı kazanılan elektrik, buhar ve benzeri enerji türleri ile üretim proseslerinde, iklimlendirme koşullarında ve lojistik gibi farklı alanlarda faydalanılmaktadır.

Enerji verimliliği ve tasarrufu çalışmalarında Endüstriyel tesislerde yapılabilecek birçok çalışma ve yöntem mevcuttur. Bu çalışmalara olan yaklaşımlar enerji tüketim değerleri, endüstriyel tesisin bulunduğu lokasyon, fiziksel büyüklük ve ticari hacim ve etki değeri açısından farklılıklar göstermekle birlikte ortak paydalarda bulundurmaktadır. Endüstriyel işletmelerde, enerji verimliliği çalışmaları için temel yaklaşımlar şu şekildedir;

- Yönetim sistemleri yöntemleri ile verimlilik ve tasarruf
- Teknolojik yatırımlar ile kazanımlar
- Enerji politikaları ve yasal düzenlemeler (Abdelaziz ve ark., 2011)

Türkiye de endüstriyel tesislerde enerji verimliliği çalışmalarında, bilinçlendirme eğitimleri, tesisin enerjietüdünün gerçekleştirilmesi, enerji tüketimlerinin izleme ve takip edilmesi, verim artırıcı projelerin planlanması ve uygulanması, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standartlarının uygulanması, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve ilgili bakanlık kararnameleleri, yükümlülükleri ve gereklilikleri yerine getirilmesi zorunludur. Bu çalışmalar bağlamında devlet teşvik kapsamı ile kazanılacak yatırım gücü, ilgili hibe ve fon destekleri ve yapılacak projelerin ekonomik analizleri ekseriyetle takip edilmektedir. (Uzun ve Değirmen, 2018)

Bu teşviklerden bazıları şunlardır;

- Enerji Performans Sözleşmeleri (EPS)
- Verim Artırıcı Proje Destekleri (VAP)
- 5. Bölge Teşvikleri
- Gönüllük Anlaşması

Bahsedilen bu teşvikler için her birinin proje maliyetine olan mali destek ve koşullar değişkenlik göstermektedir. Ancak bu teşviklerden yararlanabilmek için bazı koşullar her biri için ortak zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Bu koşullar şunlardır;

- ISO 50001 standardı başvurusunda bulunmak veya belge sahibi olmak
- Fabrikanın detaylı enerji etüdünü yaptırması
- İşletme bünyesinde enerji yöneticisinin bulundurulması

Enerji verimliliği çalışmalarında yapılacak etüt, proje ve iyileştirmeleri takip ederek proje destek ve teşviklerinden yararlanılabilmektedir. (Karen, 2022)

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, işletmelerde enerji yönetimi çalışmalarında enerji politikalarının belirlenmesi ve bu politikalar gereğince önlem alınmasını amaçlar. Enerji yönetim sistemi, enerji tüketimlerini izlemeyi, enerji tüketimlerini en aza indirmek için önlem almayı ve yapılacak çalışmaları takip ve analiz etmeyi amaçlamaktadır.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Türk Standartları Enstitüsü tarafından belgelendirmeye ve şartnamelere tabii tutulmuştur. Standardın güncel versiyonu 2018 Kasım ayında yayınlanmıştır. ISO 50001 Uluslararası bir standart olmak ile Türkiye’de 2023 yılı sonuna kadar işletmeler tarafından sistem kurulumunun tamamlanması ve akredite kuruluşlar üzerinden belgelendirilmesi zorunlu kılınmıştır.

ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı koşulları;

- Kapsamı belirlenen işletmelerin enerji etüt, ölçüm ve takip uygulamalarını yapması
- Tespit edilen tüketim değerleri içerisinde önemli enerji tüketim alanlarının belirginleştirilmesini
- Toplam tüketimi etkileyen ilgili değişkenlerin belirlenmesini
- Belirlenen ilgili değişkenlerin tüketim değerleri üzerinde regresyon analizi ile değerlendirilmesini
- Regresyon analizi ve enerji tüketim formları ile enerji performans göstergelerinin oluşturulmasını
- Önceki yıllara ait veriler var ise kıyas edilmesini
- Tüm bu analizler sonucu alınacak önlemlerin belirlenmesini
- Standart gereğince bu önlemlerin ilgili madde ile ilişkilendirilmesini
- Tüm bu çalışmaların rapor edilmesini, takip edilmesini ve her bir çalışmanın

ilgili maddeler gereğince dokümanite dilmesini talep eder.

Enerji yönetim sistemi uygulaması yolu ile enerji verimliliği çalışmalarında etkinlik artırılmakta ve sistem kontrolü sayesinde süreklilik sağlanmaktadır (TSE, 2018).

Enerji ve Tabii Kaynaklar tarafından hazırlanan Enerji Verimliliği Kanunu 18/04/2007 tarihinde kabuledilen 02/05/2007 tarihinde Resmî gazetede yayınlanmıştır.

Bu Kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, enerjinin ekonomik maliyet içerisindeki yükünün azaltılması, enerji kaynaklarının israf edilmemesi ve tabiatın korunması için enerji tüketiminin ve enerji kaynaklarının verimliliğini artırmaktır.

Bu Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda, tarım ve hizmet sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usûl ve esasları kapsamaktadır.

Bu Kanun kapsamında alınan bazı kararlar şunlardır;

- Son 3 yıllık ortalama enerji tüketim değeri; 1000 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 20.000 m² ve üzeri olan Endüstriyel tesisler, 500 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri olan ticari işletmeler ve 250 TEP ve üzeri tüm kamu binalarında Enerji Yöneticisi görevlendirmek zorunluluğu

- ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi kurulumu ve belgelendirme zorunluluğu

- Son 3 yıllık ortalama enerji tüketim değeri; 500 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 20.000 m² ve üzeri olan Endüstriyel tesislerde her 4 senede 1 tekrarlanmak üzere enerji etüdü yaptırma zorunluluğu

- 300 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri olan ticari işletmeler her 7 senede 1 tekrarlanmak üzere enerji etüdü yaptırma zorunluluğu

- Organize sanayi bölgeleri için 50 ve üzeri faal işletme mevcut ise Enerji Yönetim birimi kurma zorunluluğu

- Yıllık enerji tüketim değeri 50.000 TEP ve üzeri olan endüstriyel tesisler için Enerji yönetim birimikurma zorunluluğu kararları alınmıştır (Anonim, 2007).

Kanun kapsamında alınan kararlar neticesinde enerji verimliliği çalışmaları takip edilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bu kanun kapsamı ve amacı doğrultusunda enerji verimliliği çalışmalarını, enerji tüketim miktarlarını ve bu prosesler noktasında yapılan iyileştirme projelerini takip etmek için bir uygulama hazırlamıştır. Bu

uygulama ve takip programı Enerji Verimliliği adına istinaden ENVER isimli programdır. Bu program sayesinde işletmelerde bulunan enerji yöneticileri veyetkili kişiler sorumluluk alanlarında gerçekleştirdikleri faaliyetleri rapor etmektedir. Rapor edilen bilgiler doğrultusunda 5627 sayılı kanun kapsamı ve amacı doğrultusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı faaliyet alanlarını güncellemekte, rapor etmekte ve Türkiye enerji planlaması ve vizyonu için çalışmalarını deklare etmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar tarafından hazırlanan Enerji Verimliliği Kanunu 18/04/2007 tarihinde kabuledilen 02/05/2007 tarihinde Resmi gazetede yayınlanmıştır.

Bu kanun gereğince;

- Son 3 yıllık ortalama enerji tüketim değeri; 1000 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 20.000 m² ve üzeri olan Endüstriyel tesisler, 500 TEP ve üzeri veya toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzeri olan ticari işletmeler, 250 TEP ve üzeri tüm kamu binalarında ve 100 MW ve üzeri elektrik üretimi yapan tesislerde Enerji Yöneticisi görevlendirilmesi zorunludur (Anonim, 2007).

Bu tez kapsamında yıllık enerji tüketimi 1000 Tep ve üzeri olan muhtelif süt ürünleri üreten bir işletmenin enerji etüdü çalışması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında işletme verileri elde edilmiş, elde edilen verilere göre işletmenin enerji tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir. İşletmede farklı bölümlerde ölçüm çalışmaları yapılarak, enerji kayıp noktaları tespit edilmiştir. Enerji kayıp durumlarına göre yapılması gerekenler projeler oluşturulmuştur. Uygulanabilecek projelere göre işletmenin enerji tasarruf miktarları yıllık olarak tespit edilmiştir. İşletmenin enerji tasarruf potansiyeline uygulanan projeler ile ne kadar yaklaşılabileceği belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gençoğlu 2005, enerji verimliliği üzerine yaptığı çalışmalarda elektrik motorlarına değişken hız sőrucőleri vasıtası ile yőkte çalışmalarını kontrol edebilmek ve yőksek optimizasyonda çalıştırılmaları ile enerji verimliliği sağlanabileceğini tespit etmiştir. Bu uygulamalar ile motorların bakım maliyeti dőřecek ve motor ۆmőrleri uzayacaktır. Aktif gőcőn, gőrőnőr gőce bۆlőnmesi ile elde edilen gő faktőrő, elektrik motorları için uygun aralıklarda optimize edilmesi ile enerji tőketim kayıplarının ۆnőne geçilebilir. Bu nedenle gő faktőrőnőn yőksek tutulması ve kontrol edilmesi gerekir. Enerji izleme sistemleri ile kontrol edilebilecek bu veriler ışığında reaktif gő tőketiminden kaynaklı olumsuzluklarından da ۆnőne geçilebileceğini ifade etmiştir.

Yuan ve diğerleri 2006, yaptıkları bir araştırmada endőstriyel işletmelerde çeşitli metotlar ile basınçlı hava kullanımının mevcut olduğunu ve ۆretim sőręlerinin uygulanabilirliğini artıran ve en ۆnemli girdilerden kabul edilen basınçlı havanın, ۆretim için etkin bir enerji taşıyıcısı olduğunu tespit etmişlerdir.

Perude ve diğerleri 2009, yaptıkları bir araştırmada, sőt őrőnlerinde ortalama enerji kullanımı 0,89 GJ/t őrőn enerji tőketimi olarak tespit ettiler.

Ataseven ve Gőla 2012, 2011/2012 Sőt ve Sőt őrőnleri durum ve tahmin çalışmalarına katkı sunmuşlardır. Yaptıkları alışmada, Dőnya ۆzerinde toplam sőt ۆretimi 2011 yılı itibariyle 730 milyon ton olarak gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. 2006-2011 yılları içerisinde sőt ۆretiminde 66 milyon tonluk bir artış olduğu gۆzlenmiřtir. Tőrkiye’de ise 2010 yılı itibariyle toplam sőt ۆretimi 13,6 milyon ton olup, 2011 yılında 14 milyon ton seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Sőt ۆretiminde Dőnyada ilk sırada 135milyon ton sőt ۆretimi ile AB gelmektedir ve Tőrkiye sőt ۆretimi sıralamasında Dőnya’nın en bőyők 15. sőt ۆreticisi olarak sektۆrel faaliyetlerini sőrđurmekte olduğunu tespit etmişlerdir.

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012, T.C. Resmī gazetesinde yayınlanan 2012-2023 Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde, Tőrkiye’de bin dolarlık milli hasıla ۆretebilmek için yaklaşık olarak 300 litre petrol eşdeğeri enerji tőketmekte olduğu tespit edilmiştir. OECD ۆlkelerine bakıldığında ise bu değer 200 litre petrol eşdeğeri, Japonya ve Danimarka’da ise 100 litre petrol eşdeğeri olmaktadır. Bu veriler neticesinde aynı őrőn ۆretebilmek için bahsedilen ۆlkelerden daha fazla enerji tőketiminde bulunmaktayız. Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde yayımlanan enerji yoğunluğu politikası

çerçevesinde 2023 yılına kadar enerji yoğunluğunun %20 oranında düşürülmesi hedef belirlendiği açıklanmıştır.

Kart ve Demircan 2014, Dünyada ve Türkiye’de Süt ve Süt Ürünleri Üretimi, Tüketimi ve Ticaretindeki Gelişmeler hakkında çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmalarda, Dünya genelinde yapılan araştırmalarda 1990–94 yılları arasında ortalamasına göre yaklaşık 532 milyon ton süt üretildiğini tespit etmişlerdir. 2010 yılında ise bu sayı %35,77’lik artışla 723 milyon tona yükselmiştir. 2010 yılında en fazla süt üretimi gerçekleştiren ülke yaklaşık 121 milyon ton ile Hindistan olmuştur. Hindistan’ı takip eden ülkeler ise ABD, Çin, Pakistan ve Rusya olmuştur. İncelenen dönemde süt üretimi en fazla artış gösteren ülke Hindistan olmuştur. Hindistan’ı ABD ve Çin takip etmektedir. Araştırmalarda seçilen ülkeler arasında süt üretim miktarında azalış gösteren ülkeler ise Hollanda, Ukrayna, İtalya, Meksika, Arjantin ve Kanada olarak tespit edilmiştir. Süt üretiminde en belirgin azalış gösteren ülke Arjantin’dir. Türkiye’nin süt üretim miktarı 1990-94 yılları arasında ortalama 10,22 milyon ton; 1995–99 yılları arasında ortalama 10.29 milyonton; 2000-2004 yılları ortalamasında 9.79 milyon ton; 2005–09 yılları ortalamasında 12.03 milyon ton ve 2010 yılında ise 13.60 milyon ton olarak tespit edilmiştir. Türkiye’nin süt üretim miktarı son 20 yılda genel olarak artış eğilimi göstermekte olduğunu belirtmişlerdir.

Esen 2015, Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat konulu araştırmasında, Tüketilen enerji miktarlarının yaklaşık olarak %70’ ini elektrik motorları oluşturduğunu vepompaların ise bu oranın %20’lik kısmını kapsamadığını tespit etmiştir.

Kavak 2015, sanayide enerji verimliliği çalışmalarında bulunmuştur. Tüm bu çalışmalar neticesinde enerji tüketimlerinde sağlanacak tüm çalışmaların her bir üretim alanı ve genel enerji tüketimleri için önem arz etmektedir. Fabrika ve işletmelerde yapılacak genel enerji etüt çalışmaları ve verimlilik artıracak projeler ile üretim maliyetlerinde indirgeme sağlanacağı hedeflenmektedir. Enerji de verimlilik kavramı hem enerji tüketiminde azaltmayı hem de üretim ve hizmet maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Bazı çalışmalarda daha maliyet çıkarımı ve tükenebilir enerji kaynaklarının kullanımının düşürülmesi hedeflenirken, öte yandan tüketilen enerji miktarı ile daha fazla iş yapabilme becerilerinin geliştirilebileceği çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Aydın 2016, Yönetim Bilimleri dergisinde yayınlanan Türkiye değerlendirmesi yazısında, enerji verimliliğın sağlanması, üretimi ve iletimi hususundaki çalışmalar bütünsel olarak düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bütünsel olarak yapılacak faaliyetler maliyet noktasındaki faydayı maksimize edecektir. Süreçsel olarak aynı miktar enerjiyle daha fazla iş yapabilme kabiliyeti kazanılmalı ya da aynı miktardaki iş akışını daha az enerji ile hayata geçirebilmeyi hedeflemek gerektiğini savunmuştur.

Aypak ve diğerleri 2016, yaptıkları bir araştırmada, Elektrik ve ısı enerjisi açığa çıkaran kompresörlerin %94'lük kısmını ısı enerjisi olarak ortama yayıldığını tespit etmişlerdir. Bu kadar yüksek bir kaybın geri kazanımı için ısı geri kazanım cihazları ile birlikte oluşan kayıplar kazançlara çevrilebilir. Uygun tasarım ve projeler ile oluşan kayıpların en az %50'si geri kazanılarak enerji verimliliğimde artış sağlanabileceğini sunmuşlardır.

Süt ve Süt ürünleri imalatı kaynak verimliliği rehberi 2016, 731. Yayınında, Süt işleyen süt fabrikalarında enerji tüketimi aralığı 0,5-1,2 GJ/ton olduğu tespit edilmiştir. Sütün işlenmesi için enerji kullanımı enerji verimliliği çalışmaları ile 0,3 GJ/t süte kadar düşebileceğini yayınlamıştır.

Türk Standartları Enstitüsü 2018, tarafından yayınlanan Enerji Yönetim Sistemleri Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz'da enerji yönetimi çalışmalarından bahsedilmiştir. Enerji yönetimi kavramı, enerji verimliliği için yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarının verimli kullanılabilmesi amacıyla yapılan eğitimler, fizibilite çalışmaları ve izleme sistemleri neticesinde planlamalar ve projeler türetilmektedir. Bilinçlendirme programları ile beraber yürütülecek iyileştirme çalışmaları sonucu %5 ile %15 arası verimlilik sağlandığı görülmüştür.

Bayram 2019, aydınlatma sistemleri üzerine yaptığı çalışmada enerji tüketim potansiyelleri içinde aydınlatma sistemleri büyük ölçüde etki sahibi olduğunu ifade etmiştir. Elektrik enerjisinin yaklaşık %20'sini oluşturan aydınlatma proseslerinin etüt edilmesi ile yaklaşık olarak %60 oranında verimlilik elde edilebilecektir. Teknolojik gelişmeler neticesinde aydınlatma sistemlerinde çıkarılan led armatürler ve fotoselli armatürler ile enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Gelişen teknoloji, artan nüfus ve ekonomik nedenlerle enerji verimliliği sağlayan yöntemlerin uygulanması herkesçe uygulanmayı gerektiren şeyler olmuştur. Aydınlatma sistemlerinin fazla enerji harcayan

sistemler olması sebebi ile, aydınlatmada verimlilik sağlamak tüm kullanıcılar için büyük önem arz etmektedir. Başka bir çalışma olarak da gün ışığından faydalanarak %30 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini tespit etmiştir.

Ruşen ve Çevik 2020, bir gıda fabrikasında enerji verimliliğinin iyileştirilmesi araştırmalarında, kazan sistemlerinde yapılacak brülör ayar uygulaması ile kazan veriminin %5,2 artabileceğini tespit etmişlerdir.

Bayraktar 2021, bu çalışmada maden sektörünün enerji verimliliği potansiyelleri üzerine araştırmalar geliştirmiştir. Tesiste enerji etütü gerçekleştirilmiştir. Basınçlı hava proseslerinde oluşan hava kaçak ve sızıntılarının yıllık yaklaşık 150,000 kWh enerji kaybına neden olduğunu tespit etmiştir.

Günay 2021, çalışmasında örnek bir otel işletmesinin enerji verimliliği potansiyel kazanımları için çalışmalar yapmıştır. Termal kameralar ile sıcak su hatlarında incelemelerde bulunmuştur ve tesisatlarda yalıtım uygulaması bulunmayan tesisat elemanları üzerine ölçümlerde bulunmuşlardır. Hesaplamaları sonucu ısı yalıtım uygulamaları ile enerji tüketiminde % 17 azalma olacağını öngörmüşlerdir.

Kocabaş 2021, çalışmasında örnek bir tekstil fabrikasında buhar kazanının verimliliğini incelemiş ve kazan verimini %80 olarak tespit etmiştir. Kazanda oluşan kayıpların giderilmesi ve önerilen projeler ile kazan veriminin %96'ya ulaşacağını ifade etmiştir.

Kıyılmaz ve diğerleri 2021, çalışmalarında örnek bir dondurma fabrikasında detaylı enerji etütü gerçekleştirmişlerdir. Araştırmalarında tesisin enerji maliyetlerini, enerji tüketimlerini incelemişler ve yapılan enerji etütü sonrası enerji verimliliğini artıracak projeleri tespit etmişlerdir. Çalışmaları neticesinde tesiste yıllık 473 TEP enerji tüketiminin geri kazanılabileceğini hesaplamışlardır.

Uzun 2021, buhar enerjisi üzerine yaptığı bir araştırmada ısı ve buhar ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amaçlı kullanılan kazanların, işletmelerde enerji tüketim noktaları açısından en dikkat çeken bölümler olduğunu ifade etmiştir. Kazanların yanma optimizasyonunun kontrolü, blöf miktarları, besi suyu iletkenlikleri, yüzey yalıtımları ve benzeri birçok etken sonucu kazanların verimleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kazanlardan yükselen yüksek sıcaklıkların baca gazı analizörleri vasıtası ile yapılacak çalışmalar neticesinde baca gazı atık ısılarından faydalanmak mümkün olduğunu tespit

etmiştir.

Bekir 2022, bu çalışmada yıllık enerji tüketimi 1000 TEP ve üzeri bir tesiste enerji etüdü yapmıştır. Yapılan etüt sonucu 128 TEP enerji tasarrufu sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Karen Enerji Verimliliği Uygulama ve Araştırma Merkezi 2022, Enerji Yöneticiliği eğitim faaliyetleri kapsamında eğitim sunumlarında ISO 50001 Enerji yönetim sistemi standardı, bir işletmedeki enerji verimliliğine dair faaliyetlerin desteklenmesi ve geliştirilmesi amacıyla yapılması gereken yönergeleri belirlemede ve gerekli sistemlerin kurulmasında işletmelere yardımcı olduğunu ifade etmiştir. Enerji yönetiminin argümanlarını sistematik olarak planlanması ve yönetilmesi ile enerji tüketimlerinin düşürülmesi ve enerji maliyetinin minimize indirilmesi için yapılacak çalışmaları yapılmasını sağlayacaktır. Enerji Verimliliği strateji belgesi vizyonunca ve çevresel etkileri en aza indirme bilinci ile hazırlanan enerji politikalarına sürekliliği sağlayan üstel bir işlev katacaktır. Standart'a uygun şartların sağlanması ile enerji verimliliği ve performanslarının artırımı amacı ile kurulan ISO 50001 ENYS Standardı, etkin bir yöntem sunduğunu ön görmüşlerdir.

3. MATERYAL METOD

3.1. Endüstriyel Tesis Bilgileri

Etüt çalışması yapılan fabrika bir süt işletme tesisidir. Tesisin günlük süt işleme kapasitesi 900 Ton 'dur. Tam kapasite çalışma yükü her dönem için geçerli olmamakla beraber günlük ortalama 150-450 Ton olarak değişkenlik göstermektedir. Çiğ süt haricinde PAS diye tabir edilen peynir altı suyu da hammadde niteliğindedir. Peynir altı suyu ve çiğ süt hammaddelerinin işlenmesi ile birçok ürün elde edilmektedir. Öncelikli ürün grubu süt tozu olmak ile beraber peynir, kaşar, tereyağı, sadeyağ, domates tozu, krema, yoğurt ve türevleri üretilmektedir.

Fabrika inşaat alanı yaklaşık 50.000 m² olup, kazein, kule, vakum, pastörize, laktoz, süt alım, kahvaltılık ürünler, atölye, kazan dairesi, arıtma ve idari bina bölümlerinden oluşmaktadır. Fabrika bölümlere göre değişkenlik göstermekle beraber 3 vardiya 7/24 üretim durmaksızın çalışma performansı göstermektedir. Toplam 400 çalışan mevcuttur.

3.2. Enerji Tasarruf Projelerinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında öncelikle süt işleme tesisindeki enerji tüketim noktalarını tespit edilmiştir. Tesiste enerji kaynağı olarak doğalgaz ve elektrik enerjisi kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan enerji kaynaklarının üç yıl içindeki tüketim miktarları incelenmiştir.

Tesiste enerji tüketimine neden olan prosesler belirlenmiştir. Bu proseslerde enerji tüketiminin farklılaşmasına neden olan etkenlere bağlı olarak enerji üreten ya da tüketen cihazların enerji etüdü ölçüm cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel işletmede genel enerji tüketim analizleri yapılmış, pompalara, fanlara, soğutma kulesi fanlarına, Chillere, kule – 5'e, kazanlara, basınçlı hava sistemine, elektrik motorlarına, aydınlatma sistemine ve izolasyon eksik/kayıplarına yönelik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ölçümlerde; enerji analizörü ile elektrik ölçümleri, basınçlı hava debimetresi ile basınçlı hava debi ölçümleri, termal kamera ile sıcaklık tespitleri, yüzey sıcaklık probu ile yüzey sıcaklıkları tespiti, baca gazı analizörü ile baca gazı analizleri, ultrasonik sıvı debimetresi ile sıvı akışkan debi ölçümleri, ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava kayıpları, pitot tüpü ile basınç ölçümü ve pervane hız probu ile çizgisel hız ölçümleri 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. Enerji etüdü ile

proseslerin mevcut enerji tüketimine uygun formda ne kadar enerji tüketmesi gerektiği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak iyileştirici projeler sunulmuştur. Bu projelerin ekonomik analizi yapılmış ve tasarruf miktarları tespit edilmiştir.

Enerji etüdü yapılırken pens ampermetre, ultrasonik debi ölçer, enerji analizörü, termal kamera ve ilgili cihazlar kullanılmıştır. Enerji verimliliği kapsamında ISO 50001 çalışmalarında Enerji Yönetim Sistemi'nin gerekliliği ve faydaları göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışma kapsamında; Enerji kaynaklarının alt ısı değerleri ve petrol eşdeğerine çevrim katsayıları tablosu referans alınmıştır. İşletmenin elektrik ve doğalgaz birim maliyeti, Mart 2022 elektrik ve doğalgaz faturası referans alınarak belirlenmiştir ve 20.02.2023 saat 15:30 Merkez Bankası Döviz Kuru değerleri esas alınmıştır. Atmosfer basıncı değeri Konya ili için alınmıştır. Referans değerler Tablo 3.1. de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Referans Değerler Tablosu

Parametreler	Değerler
1 TEP	10.000.000 kCal
1 kWh	860 kCal
1 Sm ³ Doğalgaz	8.250 kCal
1 kWh Elektrik	0,583 kg eşd. CO ₂ Salımı
1 kWh Doğalgaz	0,234 kg eşd. CO ₂ Salımı
1 kWh Elektrik	3,72 TL
1 kWh Doğalgaz	1,68 TL
1 USD	18,80 TL
1 EUR	20,53 TL
Atmosfer Basıncı	89.93 kPa

Fabrikanın enerji etüt ölçümleri için kullanılan cihazların bilgisi Tablo 3.2. de paylaşılmıştır.

Tablo 3.2. Enerji Etüdünde Kullanılan Cihazlar

Cihaz Adı	Marka/Model	Kalibrasyon Bilgileri	Etüt Sırasında Kullanıldığı Yerler
		Tarih	
Enerji Analizörü	Fluke / 1732	08.07.2022	Elektrik ölçümleri
Basınçlı Hava Debimetresi	VP Instruments/VPS	03.08.2022	Basınçlı hava debi ölçümü
Termal Kamera	Testo 883 – 2	21.07.2022	Sıcaklık tespiti
Yüzey Sıcaklık Probu	Testo /435	22.07.2022	Yüzey sıcaklık tespiti
Baca Gazı Analiz Cihazı	Nova Plus	03.07.2022	Baca gazı analizleri
Ultrasonik Sıvı Debimetresi	GE Transport / PT878	15.02.2022	Sıvı akışkan debi ölçümü
Daldırma Batırma Sıcaklık Probu	Testo / 435	22.07.2022	Sıcaklık ölçümleri
Pitot Tüpü	Testo /440 dP	12.08.2022	Basınç Ölçümü
Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	UE Systems /UP3000SL	11.08.2022	Basınçlı hava kayıplarının tespiti
Pervane Hız Probu	Testo/440 dP	07.09.2022	Çizgisel hız ölçümü

3.2.1. Enerji Analizörü

Enerji analizörü ile tesiste bulunan elektrik tüketen ekipmanların ölçümü gerçekleştirilmiştir. Enerji analizörüne ait görsel şekil 3.1. de ve cihazın teknik özellikleri de Tablo 3.3. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Enerji Analizörü (Fluke,2021)

Tablo 3.3. Enerji Analizörü Teknik Özellikleri (Fluke,2021)

Özellikler	Açıklama
Gerilim aralığı	Ölçüm devresinden güç verilirken emniyet fiş girişi kullanıldığında 100 V ila 500 V
Güç tüketimi	Maksimum 50 VA (IEC 60320 girişi kullanılarak güç verildiğinde maks. 15 VA)
Verim	\geq %68,2 (enerji verimliliği düzenlemeleri uyarınca)
Maksimum yüksüz güç tüketimi	Sadece IEC 60320 giriş kullanılarak güç verildiğinde < 0,3 W
Şebeke güç frekansı	50/60 Hz \pm %15
Pil	Li-ion 3,7 V, 9,25 Wh, kullanıcı tarafından değiştirilebilir
Pille çalışma süresi	Standart çalışma modunda dört saat, güç tasarrufu modunda 5,5 saat
Şarj süresi	< 6 saat
Çözünürlük	16 bit eşzamanlı örnekleme
Ölçülen parametreler	Enerji (Wh, varh, VAh), PF, Maksimum talep, enerji maliyeti
Çalışma sıcaklığı	-10°C ila +50°C (14°F ila 122°F)
Ölçüm aralığı	1 ila 150 A ac / 10 ila 1500 A ac

3.2.2. Basınçlı Hava Debimetresi

Basınçlı hava debimetresi ile tesiste tüketilen basınçlı hava miktarlarının tespiti için kullanılmıştır. Basınçlı hava debimetresine ait görsel şekil 3.2. de ve cihazın teknik özellikleri Tablo 3.4. de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Basınçlı Hava Debimetresi (VP Instruments, 2021)

Tablo 3.4. Basınçlı Hava Debimetre Teknik Özellikleri (VP Instruments, 2021)

Özellikler	Açıklama
Display	Opsiyonel
Veri Kaydedici	Opsiyonel
Çıkışlar	20 mA ve RS 485 Modbus RTU çıkışı
Boyutlar	50 x 108 x 36 mm 1,97 x 4,25 x 1,42 inç
Ağırlık	220 gram 7.76 ons
Koruma Sınıfı	VPSensorCartridge ile eşleştirildiğinde IP65 NEMA 4
Güç Kaynağı	12 VDC... 24 VDC +% 10 Sınıf 2 (UL)
Güç Kaynağı	12... 24 VDC +/-% 10 Sınıf 2 (UL)
Güç Tüketimi	1 Watt (akıssız) 3,5 Watt (tam akış) +/-% 10
Onaylar	EN 60950-1, EN 61326-1, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61326-1, UL 508

3.2.3. Termal Kamera

Termal kamera ölçüm cihazı ile ekipmanlar ve hatların üzerinde ki ısı kayıplarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Termal kamera cihazına ait görsel şekil 3.3. ve teknik özellikler tablo 3.5. de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Termal Kamera (Testo, 2012 a)

Tablo 3.5. Termal Kamera Teknik Özellikler (Testo, 2012 a)

Özellikler	Açıklama
EU-/EG-yönetmeliği	RED: 2014/53/EU; EMC: 2014/30/EU; WEEE: 2012/19/EU; RoHS: 2011/65/EU + 2015/863; REACH: 1907/2006
Görüş alanı	30° x 23° (standart lens), 12 ° x 9° telefoto lens, opsiyonel)
İnfrared çözünürlük	320 x 240 pixel
Termal duyarlılık	< 40 mK
Görüntü boyutu	5 MP
Doğruluk	±2 °C, ±2 % of m.v.; (greater value applies)
Emissivite	0.01 to 1
Ölçüm aralığı	-30 ... +650°C
Batarya tipi	hızlı şarj, Li-ion batarya sahada değiştirilebilir.
Hava nemi	20... 80 %RH yoğuşmasız
Gövde koruma sınıfı	IP54
Titreşim	2G
Saklama sıcaklığı	-30 ... +60 °C
Çalışma sıcaklığı	-15 ... +50 °C
Sistem gereklilikleri	Windows 10; Windows 8; Windows 7

3.2.4. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Probları

Yüzey sıcaklıklarını ve iletken sıcaklıklarını ölçmek amacı ile yüzey sıcaklık ve daldırma batırma sıcaklık probu kullanılmıştır. Testo – 435 cihazı kullanılarak bu problemlerin kolay değişkenliklerinden faydalanılmıştır. Testo – 435 cihazına ait görsel şekil 3.4. de, problemlere ait görsel şekil 3.5. de ve teknik özelliklerine ait bilgiler ise Tablo 3.6. da gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Testo – 435 (Testo, 2012 b)



Şekil 3.5. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Probu (Testo, 2012 b)

Tablo 3.6. Yüzey Sıcaklık ve Daldırma Batırma Sıcaklık Probu Teknik Özellikleri (Testo, 2012 b)

Özellikler	Açıklama
Çalışma sıcaklığı	-20 ... +50 °C
Saklama sıcaklığı	-30 ... +70 °C
Metal Koruma sınıfı	IP54

3.2.5. Baca Gazı Analizörü

Kazanlardan atılan baca gazının ısı ve bileşenlerinin ölçümü için kullanılmıştır. Baca gazı analizörüne ait görsel şekil 3.6. ve teknik özellikleri tablo 3.7. de gösterilmiştir.

**Şekil 3.6.** Baca Gazı Analizörü (MRU, 2018)**Tablo 3.7.** Baca Gazı Analizörü Teknik Özellikleri (MRU, 2018)

Özellikler	Açıklama
O ₂	0... 21%
CO	0...4.000 ppm* (max 10.000 ppm'e kadar)
NO(x)	0...1.000 ppm* (max 5.000 ppm'e kadar)
NO ₂	0...200 ppm (max 1.000 ppm'e kadar)
SO ₂	0...2000 ppm (max 5.000 ppm'e kadar)
H ₂ S	0...200 ppm (max 2.000 ppm'e kadar)

Sıcaklık	650 °C'ye veya uygun sensörle 1.100 °C'ye kadar
Baca gazı sıcaklığı	0...650 °C(paslanmaz çelik boru) 0...1.100 °C(inkomel boru)
Debi	hava akımı konisi ile birlikte
Bağıl nem oranı	3...98%
Akış hızı	pitot borusu ile 1...40, valf ile 0,25...35 m/s
Çalışma sıcaklığı	+5...+45°C, maksimum 95% RF, yoğuşmasız
Güç kaynağı	şebeke 100 ... 240 Vac / 50... 60 Hz, 1,4 A, 12 V DC/5A
Pil kapasitesi	temel ünite 20 saat, gaz soğutucu ile 10 saat / uzaktan kumandalı 30 saat

3.2.6. Ultrasonik Sıvı Debimetre

Ultrasonik sıvı debimetre ile debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik sıvı debimetresine ait görsel şekil 3.7. ve teknik özellikler tablo 3.8. de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ultrasonik Sıvı Debimetre (GE, 2008)

Tablo 3.8. Ultrasonik Sıvı Debimetre Teknik Özellikler (GE, 2008)

Özellikler	Açıklama
Boru Çapı	0.5 in 300 in (12.7 mm 7.6 m) ve daha büyük
Çalışma Sıcaklığı	-4°F 131°F (-20°C 55°C)
Ölçüm Parametreleri	Volumetrik akış, toplam akış ve akış hızı
Dahili Pil	Şarj edilebilir pil: 9 ... 11 saat sürekli çalışma
Sıcaklık Transdüseri	Döngü enerjisiyle çalışan, üç kablolu platinyum RTD, clamp-on ve sıvıyla temas halinde olan tipler mevcuttur.
Doğruluk	Sıvıyla temas eden RTD ile $\pm 0.15^\circ\text{C}$ (karşılıklı çiftler)

3.2.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü

Ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava hatlarında ki kayıp ve kaçak miktarları tespit edilmiştir. Ultrasonik sızıntı dedektörüne ait görsel şekil 3.8. ve teknik özellikler tablo 3.9. da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü (UESystem, 2014)

Tablo 3.9. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü Teknik Özellikler (UESystem, 2014)

Özellikler	Açıklama
Yapı	Elde taşınabilir tabanca tipi, ABS plastikten yapılma
Frekans	Frekans Yanıtı: 35-45 kHz
Pil	Li Polimer Şarj Edilebilir
Çalışma Sıcaklığı	0 °C - 50 °C arasında

3.2.8. Pervane Hız Probu ve Pitot Tüpü

Pervane hız probu ve pitot tüpü Testo – 440 DP cihazı ile ölçüm sağlayan iki ayrı özelliktir. Tesiste, pervane hızı probu ile akış hızını, pitot tüpü ise akışkanın basıncını ölçülmüştür. Testo – 440 DP cihazına ait görsel şekil 3.9. da ve teknik özellikler tablo 3.10. da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Testo – 440 DP ve Probları (Testo, 2012 c)

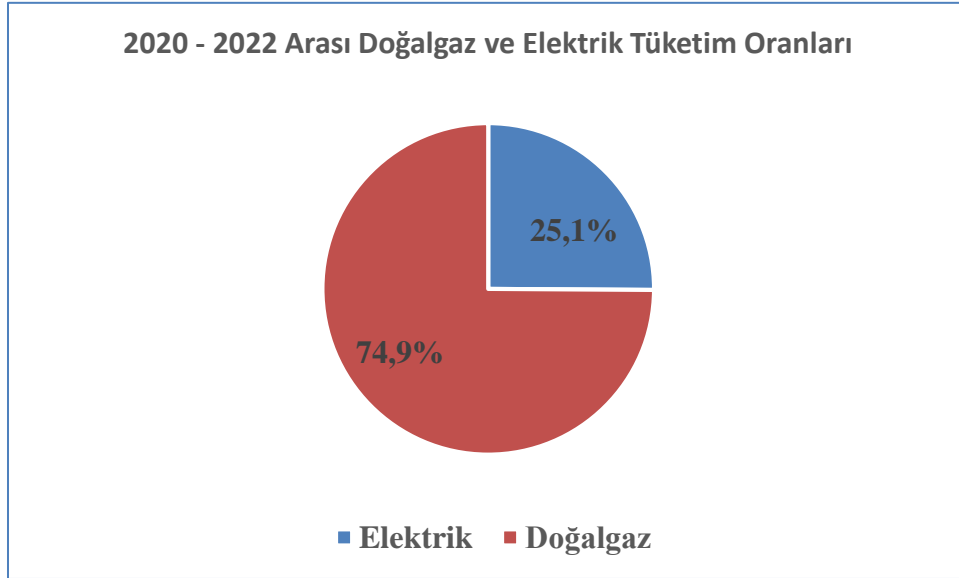
Tablo 3.10. Testo – 440 DP ve Probların Teknik Özellikleri (Testo, 2012 c)

Özellikler	Açıklama
Sıcaklık Ölçüm aralığı	-40 ... +150 °C
Doğruluk	±0,4 °C (-40 ... -25,1 °C)
	±0,4 °C (+75 ... +99,9 °C)
	±0,3 °C (-25 ... +74,9 °C)
	±0,5 % ölç.değ. (kalan aralık)
Çözünürlük	0,1 °C
Fark basınç - Ölçüm aralığı	-150 ... +150 hPa
Doğruluk	±0,05 hPa (0 ... 1,00 hPa)
	(1,01 ... +150 hPa)
	±0,2 hPa + 1,5 % ölç.değ.
Çözünürlük	0,01 hPa

Etüt çalışmalarında önce fabrikanın genel enerji tüketim verileri değerlendirilmiştir. Son üç yıllık tüketim verileri tespit edilmiştir. Endüstriyel tesis de elektrik ve doğalgaz enerji kaynakları tüketilmektedir. 2020,2021 ve 2022 değerleri baz alınmıştır. İşletmeye ait 2020- 2022 yılları arası üç yıllık ortalama enerji tüketimleri ve üretim miktarı Tablo 3.11. de ve kullanılan enerji türlerine göre dağılımı grafiği şekil 3.10. da verilmiştir.

Tablo 3.11. İşletmenin 2020-2022 Arası Üç Yıllık Ortalama Üretim ve Enerji Tüketim Değerleri

	Üretim TON	Elektrik TEP	Doğalgaz TEP	Toplam TEP
Ocak	3690	116	478	594
Şubat	3732	107	404	511
Mart	4065	117	450	567
Nisan	4410	114	445	560
Mayıs	3968	126	374	500
Haziran	3960	128	365	493
Temmuz	3751	144	259	402
Ağustos	3541	140	228	368
Eylül	3424	126	251	377
Ekim	3315	101	288	390
Kasım	3202	92	345	437
Aralık	3319	112	355	467
TOPLAM	44378	1423	4243	5666

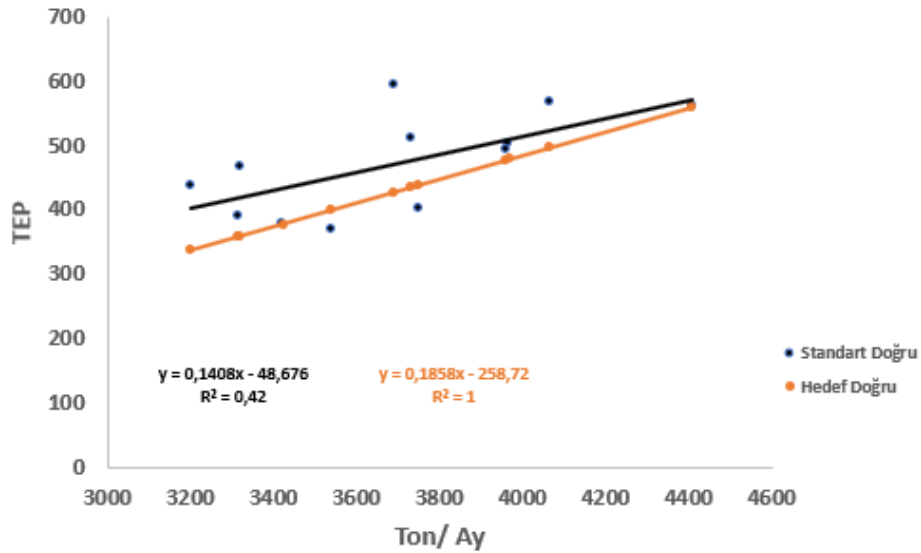
**Şekil 3.10.** 2020-2022 Arası Ortalama Enerji Tüketimlerinin Enerji Türlerine Göre Dağılımı

3.3. Hedef Doğru Denklemine Oluşturulması

İşletmelerde enerji tasarruf potansiyelini belirlenmesi amacıyla aylık ürün ve tüketilen enerji miktarı değerlerine göre standart doğru oluşturulur. Doğrunun altında kalan veriler işletmenin üretim bazında en düşük enerji tüketim değerlerini ifade eder. Bu değerler işletmenin mevcut koşullarında enerji tüketimi açısından sağladığı en iyi değerlerdir. İşletmenin tasarruf hedefini belirlemek amacıyla standart doğru altında kalan veriler kullanılarak hedef denklemi elde edilir. İşletmenin aylık üretim değerlerine hedef denklemini uygulanarak hedef doğrusu elde edilir. İki doğru arasında kalan bölge işletmenin tasarruf potansiyelini gösterir (Söğüt ve ark., 2011).

Yapılan etüt çalışması neticesinde işletmede öngörülen projelere göre projelerin uygulanması ile elde edilecek yıllık tasarruf değerleri belirlenir. Yıllık enerji tasarrufunun on iki aya bölünmesi ile aylık enerji tasarruf değeri hesaplanır. Aylık enerji tasarruf miktarının aylık enerji tüketim çıkarılması ile elde edilen yeni değerler ile proje sonu doğrusu oluşturulur.

İşletmeni mevcut durumda tükettiği enerji miktarlarının hedef değerler ile farkı kullanılarak işletmenin enerji potansiyeli yüzdesi belirlenir. Mevcut tüketim değerlerinin projeler sonunda elde edilecek tasarruf miktarına oranı ile elde edilen sonuca bakılarak işletmenin uygulanacak projelerle tasarruf hedefine ne kadar yaklaşabildiği değerlendirilir.



Şekil 3.11. Standart Doğru ve Hedef Doğru

4. ETÜT BULGULARI

4.1. Kazanlar

Kazanlar, basınç altında çalışarak yakıtlarda bulunan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek taşıyıcı akışkana transfer eden mekanizmalardır (EIE-UETM, 2003).

Kullanım ihtiyacına ve proseslere göre değişkenlik gösteren kazanlar, işletmeler için ilk yatırım ve işletme gideri bakımından pahalı mekanizmalardır. Kazanın kullanım amacına uygun seçilmesi, ihtiyaç duyulan buhar veya sıcak su miktarı, proses kullanım basıncı ve sıcaklığı, besleme suyunun sertlik değeri, yakıt tipi, yakıtın alt ısı değeri, yakıtın tedariki ve fiyat analizi işletmelerde kullanılacak kazanların tasarımında önemlidir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 a).

Kazanlar, kızgın yağ kazanı, su kazanı ve buhar kazanı olmak üzere üç grupta ve yakıt tipine göre de katı, sıvı ve gaz yakıtlı olmak üzere yine üç grupta değerlendirilmektedir.

Kazanlar, yakıt tipine göre de katı, sıvı ve gaz yakıtlı olmak üzere yine üç grupta değerlendirilmektedir. Kazanlarda kullanılan yakıt ve elde edilen faydalı enerji maliyetleri günümüzde çok artış göstermektedir. Maliyetlerde gözlemlenen bu artış neticelerinde kazanlarda enerji verimliliği çalışmaları hız kazanmıştır.

Kazanlarda verimi etkileyen faktörler şunlardır;

- Baca gazında oluşan ısı kayıpları
- Eksik veya fazla yanma ile oluşan kayıplar
- Fazla hava nedeniyle olan kayıplar
- Yüzey yalıtımı nedeni ile olan kayıplar
- Yakıtın ısı özelliği
- Kazan yükü
- Buhar, debi, sıcaklık ve basınç parametreleri
- Blöf oluşumu
- Kazan besleme suyu özellikleri

Tüm bu nedenler kazan verimini doğrudan etkilemektedir. Kazanın verimini hesaplamak için bu parametreler üzerinde gerekli ölçümleri yaparak toplanan veriler ve yapılan fizibilite çalışmaları neticesinde değerlendirmek gerekmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 a).

Bu ölçümlerde baca gazı sıcaklığını ve bileşenlerini tespit etmede baca gazı probu

ve baca gazı analizörü ile sağlanabilir. Bu ölçümler neticesinde baca gazı emisyon değerlerine, oksijen miktarına ve atık ısı sıcaklığına ulaşılabilir. Diğer bir parametre olan debi ölçümleri için debimetreler, basınç ölçümleri için manometre, su sıcaklığı için termometre, buhar miktarı için buhar sayacı ve yakıt miktarı için sayaçlar kullanılmaktadır.

Ölçüm sonuçları ile kazan verimi formül 4.1 ile hesaplanır;

$$\eta = \frac{m_b * i_b - m_s * i_s}{B * H_u} \quad (4.1)$$

Formül 4.1 Kazan Verim Hesabı

m_b = Buhar Debisi (kg/h)

m_s = Su Debi (kg/h)

i_b = Buhar Entalpisi (kcal/kg)

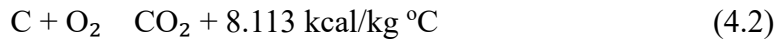
i_s = Besi Suyu Entalpisi (kcal/kg)

B = Yakıt Miktarı (kg/h)

H_u = Yakıtın Alt Isıl Değeri (kcal/kg)

Bu formül ile genel enerji verimi hesaplanabilir. Lakin kayıpların tespiti ile kazan enerji verimi hesaplanmak istenirse, diğer parametreler için bulunan yüzdelik kayıp oranı %100 verimden çıkartılarak kazan verimi hesaplanabilir (Kılıç, 2017).

Kazanlarda baca gazı analizlerinin değerlendirilmesinde yanma analizleri önemlidir. Yakıt tamamen yandığında karbondioksit (CO₂) ve hidrojen (H₂), su buharına (H₂O), ve kükürtdioksite (SO₂) dönüşür. Eksik yanmada baca gazı alev rengi koyu renkte olur ve fazla miktarda CO (Karbon Monoksit) ortaya çıkar. Fazla yanma ile, baca gazı alev rengi açık renkte olur ve O₂ miktarı fazla olduğu için fazla yakıt tüketimine sebep olur. Bu nedenle yakıtın yanma kademesinin tam yanma kademesine getirilmesi gerekir. Tam yanma hesabı formül 4.2 aşağıda verilmiştir.



Tam yanma hesabı ile baca gazı cihazı ile alınan ölçümler sonucu çıkan değerler bu formül ile optimize edilir (Bilgin, 2011).

Yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, karbonmonoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, baca gazları içerisinde oksijen oranının mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Doğalgazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta

% 5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir.

Yakıt cinsine bağlı olarak karbondioksitin baca gazları içerisinde yüksek oranda bulunması tercih nedeni olmaktadır. Doğalgazda %11, sıvı yakıtta % 14, katı yakıtta % 14 karbondioksit değerleri, bacagazı analizleri için uygun değerlerdir (Bilgin, 2011).

Neden olduğu enerji kaybı ve ısılık sonucu kirlenme nedeniyle karbonmonoksit, baca gazları içerisinde arzu edilmemekte ve emisyon kabul edilmektedir. Yakıtta verilen oksijen artırılarak, eksik yanma tamamlanmak suretiyle karbonmonoksit mutlaka karbondioksite dönüştürülmelidir. Baca gazı analizinde karbonmonoksit miktarı 100 ppm değerine kadar normal kabul edilebilmektedir.

Yakıt içerisindeki kükürtün (S) yanmasıyla ortaya çıkan kükürtdioksit (SO_2), çevre için tehlikeli emisyonların başında kabul edilmektedir. Brülör ve kazanda alınacak önlemlerle ilgisi olmayan bu gaz, ancak düşük kükürtlü yakıtlarla baca gazlarında azaltılabilmektedir. Doğalgaz kullanımında baca gazında görülmeyen kükürtdioksit (SO_2) değeri, %0,5 kükürt ihtiva eden ithal kömür kullanıldığında, baca gazlarında 150-200 ppm değerinde olabilmektedir. Kükürtdioksitin, baca gazlarında, düşük sıcaklıklarda, su buharı ile birleşerek sülfürik aside (H_2SO_4) dönüştüğü ve kazanlarda tahribatlara neden olduğu bilinmektedir.

Kazanı terk eden baca gazlarının, yakıt cinsine ve içerisindeki kükürt oranına bağlı olarak, mümkün mertebe düşük sıcaklıkta olması istenmektedir. Gereğinden fazla yakıt debisi, yetersiz kazan ısıtma yüzeyi ile duman borularındaki kirlilik, yüksek baca gazı sıcaklığına neden olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli husus, kazan testinin, dolayısıyla baca gazı analizlerinin kazan anma gücüne uygun yakıt debisinde yapılmasıdır. Zira, düşük kazan kapasitelerinde baca gazı sıcaklığının da düşüklüğü beklenen bir durumdur. Yüksek baca gazı sıcaklığı verim kaybı demektir. Baca gazı sıcaklıklarında düşülebilecek minimum değerler, baca gazlarının yoğuşma (çiğ noktası) sıcaklığı ile ilgilidir. Yoğuşma sıcaklığı ise baca gazındaki kükürtdioksit (SO_2), dolayısıyla yakıt içindeki kükürt (S) miktarına bağlıdır. Doğalgaz kullanımında 130-150 °C, katı ve sıvı yakıt kullanımında 130-175 °C baca gazı sıcaklıkları uygun değerler olarak kabul edilebilmektedir (Bilgin, 2011).

Mevcut toplam havanın teorik hava oranına bölünmesi sonucu ulaşılan değere hava fazlalık katsayısı denir. Hava fazlalık katsayısı aşağıdaki formül 4.3 ile hesaplanır;

$$\text{Fazla Hava Oranı (\%)} = \frac{O_2}{21 - O_2} * 100 \quad (4.3)$$

Hesaplamalar neticesinde yanma sistemi optimizasyonu ve yanma prosesinde oluşan O_2 miktarı ve oranı tespit edilebilir ve iyileştirici faktörler uygulanarak oluşan kayıplar önlenebilir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 b).

Kazanlara iletkenlik değeri düşük besi suyu verilmesi kazan verimi açısından çok önemlidir. Bunun nedeni, kazan içerisinde bulunan minerallerin yüksek sıcaklıkta çözünürlüğe kavuşarak besi suyu ile reaksiyonu sonucu kazan içerisinde tortu oluşumuna sebep olurlar ve ısı transferinin azalmasına neden olurlar. Bu tortulaşmanın giderilebilmesi için kazan içerisindeki suyun belirli periyotlarda hesaplanan miktarda boşaltılması gerekmektedir. Bu işleme blöf denilir. Blöf miktarı aşağıdaki formül 4.4 ile hesaplanır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 b);

$$\text{BD (\%)} = \frac{S_f}{S_b} * 100 \quad (4.4)$$

BD = Blöf Miktarı (%)

S_f = Besi suyunun iletkenlik değeri (ppm)

S_b = Kazan suyunun iletkenlik değeri (ppm)

Kazanlarda en çok dikkat çeken enerji verimliliği çalışmalarından bir tanesi de baca gazından çıkan hava sıcaklığı ile atılan ısının geri kazanımıdır. Yanma havası ön ısıtılması için kullanılan reküperatörler ile besi suyu ön ısıtılması için kullanılan ekonomizerler, atık ısı kazanımı için etkili uygulamalardır. Bu cihazlarda ihtiyaç duyulan besi suyunu ya da yanma havasının sisteme girmeden sıcaklığını yükseltilir. Bunun için kazan bacalarından veya baca çıkış noktalarında oluşan ısı bu cihazlarda besi suyunu ya da yanma havasına transfer edilir. Yanma havasının atık ısı ile ısıtılması ile yaklaşık olarak her 28 °C'lik artışta kazan verimini %1 artar.

Atık ısı miktarı aşağıdaki formül 4.5 ile hesaplanır;

$$Q = m * (c_1 * T_1 - c_2 * T_2) \quad (4.5)$$

Q = Atık ısı miktarı (kcal)

m = Hava/Su Debi (kg/h)

c_1, c_2 = Hava/Su özgül ısı (kcal/Nm³°C)

T_1, T_2 = Isı transferi akışkan sıcaklıkları (°C)

Kazanlar içerisinde oluşan kayıp miktarlarının ve geri kazanım miktarlarının tespiti ile uygulanacak projeler için geri ödeme süresi hesaplanır (Kılıç, 2017).

4.1.1. Kazan Ölçüm ve Analizleri

İşletmede 7 ton/h (Selnikel Kazan) ve 10 ton/h (Teta Kazan) kapasiteye sahip 2 adet doğalgaz yakıtlı buhar kazanı bulunmaktadır. Kazanlarda 16,5 bar basınçta ve 220 °C sıcaklıkta buhar üretilmektedir. Üretilen buhar, kulelerde, vakum ünitelerinde, kazein ünitesinde ve kahvaltılık ürün ünitelerinde kullanılmaktadır.

Süt tozu ünitesinde eşanjörler yardımıyla sütün içerisinde bulunan su molekülleri süttten ayrıştırılmaktadır. Süttten ayrılan su, buhar kazanlarında besi suyu olarak kullanılmaktadır. İşletmenin durması durumunda sisteme yeni besi suyu belenmektedir. Kondens tankı sıcaklığı yaklaşık 50-55 °C sıcaklığındadır. Teta kazanında atık ısı geri kazanım sistemi bulunmaktadır. Doğalgaz kazanlara ait fotoğraflar Şekil 4.1. de verilmiştir. Kazanlara ait değerler Tablo 4.1. de verilmiştir.

Tablo 4.1. Buhar kazanları su giriş sıcaklığı, buhar çıkış sıcaklığı ve basıncına ait bilgiler

	Kapasite	Su Giriş Sıcaklığı	Buhar Çıkış Sıcaklığı	Buhar Çıkış Basıncı	Yıllık Çalışma Saati
Kazan	kg/saat	°C	°C	Bar	Saat/Yıl
Selnikel Kazanı	7000	60	220	16,5	8400
Teta Buhar Kazanı	10000	-	-	-	8400



Şekil 4.1. Selnikel Kazan ve Teta Kazan

Kazandan alınan ölçüm sonuçlarına göre kazan verimi hesaplanmıştır. Kazan veriminin düşük olması kazanda fazladan yakıt tüketilmesine nedeni ile enerji kaybına neden olur.

Ölçümlerde kazan baca gazında bulunan O_2 oranına dikkat edilmiştir. O_2 oranının yüksek olması yanma verimsizliğinin göstergesidir. Kazanın yakıt türüne göre ideal baca gazı O_2 oranı değişmektedir. Bu ideal O_2 oranına göre yanma ayarı ile elde edilebilecek tasarruf miktarları hesaplanır.

Kazanların bacalarından alınan ölçüm sonuçlarına göre baca gazı atık ısı potansiyelleri hesaplanır. Belirlenen atık ısı potansiyelinin kullanılabilir olup olmadığı değerlendirilir. Eğer atık ısı potansiyeli gerikazanım için uygunsa, atık ısının kullanılacağı noktalar belirlenerek atık ısının kullanılmasıyla elde edilebilecek tasarruf miktarları hesaplanır.

Kazan verimlerinin ve kazan baca gazı atık ısı potansiyelinin belirlenebilmesi için kazan baca gazı içeriğinin, baca gazı ve ortam sıcaklığının bilinmesine gerek duyulmaktadır. Kazan sisteminin verimini belirleyebilmek için kazan bacalarında baca gazı analizörü ile baca gazı içeriği ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Baca gazı debisi tespiti için çizgisel hızın bilinmesi gerekmektedir. Çizgisel hız tespitinde kullanılmak üzere pitot tüpü ile dinamik basınç ölçülmüştür. Baca ebatları alınmıştır. Buhar kazanları

yüzeylelerinden radyasyon ve konveksiyon yoluyla meydana gelen ısı kayıpların belirlenmesi amacıyla kazanların yüzey sıcaklıkları yüzey sıcaklık probu ile incelenmiştir. Doğalgaz tüketim miktarı baca gazı içeriği, sıcaklığı ve debisi referans alınarak teorik olarak belirlenmiştir. Buhar kazanları baca gazı analizi sonuçları Tablo 4.2. de verilmiştir.

Tablo 4.2. Buhar kazanları baca gazı analizi sonuçları

Kazan	O ₂	CO ₂	CO	Dinamik Basınç	Baca Gazı Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	Baca Çapı	Doğalgaz Tüketimi
	%	%	ppm	Pa	°C	°C	m	m ³ /saat
Selnikel Kazan	2,72	10,4	8	0,08	257	16	0,86	449,15
Teta Kazan	7,54	7,6	0	0,01	168	23,7	1,00	179,3

Buhar kazanlarının verimleri endirekt yöntem ile tespit edilmiştir. Kazanlardaki ısı kayıpları genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- » Kuru baca gazı yoluyla olan ısı kaybı
- » Baca gazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı
- » Baca gazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı
- » Kazan yüzeyindeki radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı

Buhar kazanlarının verimleri Tablo 4.3. de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Buhar kazanlarının verimi

Kazan	Baca Gazı ile ısı kaybı	Nem ile ısı kaybı	Yüzey Isı Kaybı	Verim
	%	%	%	%
Selnikel Kazan	8,14	2,96	1,21	87,69
Teta Kazan	6,62	2,01	0,70	90,67

Baca gazı ölçümleri alınırken baca gazında bulunan O₂ ve CO oranlarına dikkat edilmiştir. Baca gazındaki O₂ ve CO oranına bakılarak yanma verimi değerlendirilebilir. Doğalgaz yakıtlı kazanlarda yanma sonucunda baca gazındaki ideal O₂ değerinin %1-3 seviyelerinde olması ve CO çıkışının ise en fazla 100 ppm mertebelerinde olması beklenmektedir.

Baca gazı ölçüm değerleri göz önüne alındığında Selnikel kazan O₂ oranının (%2,72) ve CO değerinin (8 ppm) iyi/ideal seviyelerde olduğu; Teta kazan O₂ oranının

(%7,54) iyi/ideal seviyelerin üzerinde olduğu ve CO (0 ppm) değerinin iyi/ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Baca gazı O₂ değerinin ideal değer üzerinde olması, fazla hava ile yanma gerçekleştiğini göstermektedir. Fazla hava ile yanma tepkimesi gerçekleşirken O₂ ısıtılmakta, tepkimeye girmeyen oksijen miktarı ısıtılarak atmosfere transfer edilmektedir. Baca gazındaki O₂ değerinin yanma ayarı uygulaması ile ideal seviyeye getirilmesi ile enerji tüketiminden tasarruf edilebilir. Baca gazı O₂ oranının düşürülebilmesi için Teta kazanda yanma ayarı yapılması önerilmektedir. Teta kazanda yapılacak yanma ayarı uygulaması ile elde edilecek verim değeri Tablo 4.4. de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Teta kazanının yanma ayarı uygulamasıyla öngörülen kazan verimi

Kazan	O ₂	CO	Baca Gazı ile ısı kaybı	Nem ile ısı kaybı	Yüzey Isı Kaybı	Verim
	%	ppm	%	%	%	%
Teta Kazan	2,50	0	4,81	2,01	0,70	92,48

Teta buhar kazanında yanma ayarı uygulaması yapılarak ideal yanma sağlanabilir. Aynı zamanda fazla hava ile çalışması nedeniyle oluşan ısı kayıpları da azaltılabilir. Yanma ayarı uygulaması ile yanma için gerekli olan minimum hava ile çalışma yapılmış olur. Yanma sonucu baca gazındaki O₂ oranı idealden fazla olan buhar kazanında yanma ayarının yapılması önerilmektedir. Baca gazındaki O₂ oranının ayarlanmasıyla yanma verimi artarak kazanın yakıt tüketimi azaltılabilir. Teta buhar kazan yanma ayarı uygulaması yapılmasıyla elde edilen ölçüm değerleri ve enerji tasarrufu değerleri Tablo 4.5. ve Tablo 4.6. da verilmiştir.

Tablo 4.5. Teta buhar kazanı yüzdesel ölçüm değerleri

Kazan	Mevcut Durum			Uygulama Sonrası		
	Doğalgaz Tüketimi	O ₂	CO	Doğalgaz Tüketimi	O ₂	CO
	Sm ³ /h	%	ppm	Sm ³ /h	%	ppm
Teta Kazan	179,93	7,54	0,00	176,40	2,50	0,00

Tablo 4.6. Teta buhar kazanına yanma ayarı uygulaması yapılmasıyla elde edilebilecek enerji tasarrufu hesabı

Kazan	Mevcut Durum	Uygulama Sonrası	Tasarruf		
	Kazan Verimi	Kazan Verimi	Doğalgaz Tasarruf Miktarı	Birim Enerji Tasarrufu	Yıllık Enerji Tasarrufu
	%	%	Sm ³ /h	kW	kWh/yıl
Teta Kazan	90,67	92,48	3,53	33,86	284.424,00

Mevcut durumda Selnikel buhar kazanının baca gazı sıcaklığının bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Selnikel buhar kazanın baca gazı atık ısı potansiyelinin ekonomizer ile geri kazanılmasıyla buhar kazanında yakıttan tasarruf etmek ve dolayısıyla verimi arttırmak mümkündür. Selnikel buhar kazanı baca gazı atık ısı potansiyeli belirlenmiştir. Selnikel buhar kazanı baca gazı atık ısı potansiyeli hesabı Tablo 4.7. de verilmiştir.

Tablo 4.7. Selnikel buhar kazanı baca gazı atık ısı potansiyeli hesabı

Kazan	Sıcaklık	Düşürülebilir Sıcaklık	Sıcaklık Farkı	Baca Gazı Debisi	Atık Isı Miktarı	Geri Kazanılabilir Atık Isı Miktarı	Besi Suyu Debisi
	°C	°C	°C	m ³ /h	kW	kW	kg/s
	Selnikel Kazan	257	120	137	10126,80	269,70	242,73

Selnikel buhar kazanında ekonomizer kullanılmasıyla, besi suyu giriş sıcaklığının artırılması, bu sayede de yakıt tüketiminin azaltılması sağlanabilir. Selnikel buhar kazanına ekonomizer uygulaması selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının geri kazanılması ve besi suyu ön ısıtmasıyla enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir. Selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılmasıyla öngörülen besi suyu sıcaklığı hesabı Tablo 4.8. de verilmiştir.

Tablo 4.8. Selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılmasıyla öngörülen besi suyu sıcaklığı hesabı

Bölüm	Kazan Adı	Kullanılabilir	Besi Suyu Debisi		Ekonomizer	Ekonomizer
		Atık Isı Miktarı	m ³ /h	kg/s	Su Giriş Sıcaklığı	Su Çıkış Sıcaklığı
		kW			°C	°C
Kazan Dairesi	Selnikel Kazan	242,73	5,42	1,48	60,00	99,19

Mevcut sisteme ekonomizer eklenmesi durumunda besi suyu pompasının enerji tüketiminde bir miktar artış olacağı öngörülmektedir. Yıllık enerji tasarrufu potansiyeli tespit edilirken besi suyu pompası enerji tüketim artışı göz önünde bulundurularak net enerji tasarrufu potansiyeli hesaplanmıştır. Selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılmasıyla öngörülen net enerji tasarrufu potansiyeli hesabı Tablo 4.9. da verilmiştir.

Tablo 4.9. Selnikel buhar kazanının ekonomizer ile öngörülen net enerji tasarrufu potansiyeli hesabı

Isı Tarafı			Pompa Tarafı		
Kullanılabilir Atık Isı Potansiyeli	Birim Enerji Tasarrufu	Yıllık Enerji Tasarrufu Potansiyeli	Besi Suyu Pompası Birim Enerji Tüketimi	Besi Suyu Pompası Yıllık Enerji Tüketim Miktarı	Enerji Tasarrufu
kW	kW	kWh/yıl	kW	kWh/yıl	kWh/yıl
242,73	276,8	2.325.120	0,49	4.116	2321004

Çalışma sistemi incelenen buhar kazanlarında Teta buhar kazanının kısmi yükte ikincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının tam yükte birincil kazan olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Mevcut durumda Teta buhar kazanının daha verimli olması nedeniyle Teta buhar kazanının birincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının ikincil kazan olarak çalışması öngörülmüştür. Teta buhar kazanının birincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının ikincil kazan olarak uygulamasıyla öngörülen yıllık enerji tasarrufu potansiyeli tespit edilmiştir. Elde edilecek tasarrufu potansiyeli hesabı Tablo 4.10. da verilmiştir.

Tablo 4.10. Teta buhar kazanının birincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının ikincil kazan olarak uygulamasıyla öngörülen yıllık enerji tasarruf potansiyeli

Kazan	Kazan Verimi	Doğalgaz Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu		Yıllık Enerji Tasarrufu
	%	m ³ /h	kW	kW	m ³ /h	m ³ /h	kW	kWh/yıl
Selnikel Kazan	87,69	449	4308	1.784,73	186,04			
Teta Kazan	90,67	179	1726	4.167,10	434,39	8,65	82,95	696.780
Toplam	-	629	6034	5.951,83	620,43			

4.1.2. Tasarruf Önerileri

Buhar kazanlarının verimleri endirekt yöntem ile tespit edilmiştir. Baca gazı ölçüm değerleri göz önüne alındığında Selnikel kazan O₂ oranının (%2,72) ve CO değerinin (8 ppm) iyi/ideal seviyelerde olduğu; tetakazan O₂ oranının (%7,54) iyi/ideal seviyelerin üzerinde olduğu ve CO (0 ppm) değerinin iyi/ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Baca gazı O₂ değerinin ideal değer üzerinde olması, fazla hava ile yanma gerçekleştiğini göstermektedir. Fazla hava ile yanma tepkimesi gerçekleşirken O₂ ısıtılmakta, tepkimeye girmeyen oksijen miktarı ısıtılarak atmosfere atılmaktadır. Baca gazındaki O₂ değerinin yanma ayarı uygulaması ile ideal seviyeye getirilmesi ile enerji tüketiminden tasarruf edilebilir. Baca gazı O₂ oranının düşürülebilmesi içinteta kazanda yanma ayarı yapılması önerilmektedir.

Buhar kazanında yanma ayarı uygulaması yapılarak ideal yanma sağlanabilir. Aynı zamanda fazla hava ile çalışması nedeniyle oluşan ısı kayıpları da azaltılabilir. Yanma ayarı uygulaması ile yanma için gerekli olan minimum hava ile çalışma sağlanır. Yanma sonucu baca gazında oluşan O₂ miktarı, ideal seviyeden fazla olan buhar kazanında yanma ayarının yapılması önerilmektedir. Baca gazındaki O₂ oranının ayarlanmasıyla yanma verimi artarak kazanın yakıt tüketimi azaltılabilir.

Mevcut durumda selnikel buhar kazanının baca gazı sıcaklığının bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısı potansiyelinin ekonomizer ile geri kazanılmasıyla buhar kazanında yakıttan tasarruf etmek ve dolayısıyla verimi arttırmak mümkündür.

Selnikel buhar kazanında ekonomizer kullanılmasıyla, besi suyu giriş sıcaklığının artırılması, bu sayede de yakıt tüketiminin azaltılması sağlanabilir. Selnikel buhar kazanına ekonomizer uygulaması selnikel buhar kazanının baca gazı atık ısısının geri kazanılması ve besi suyu ön ısıtmasıyla enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir. Mevcut sisteme ekonomizer eklenmesi durumunda besi suyu pompasının enerji tüketiminde bir miktar artış olacağı öngörülmektedir.

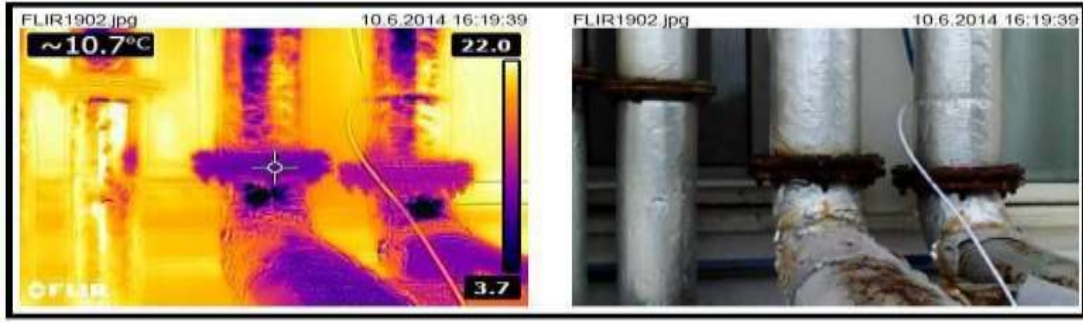
Çalışma sistemi incelenen buhar kazanlarında Teta buhar kazanının kısmi yükte ikincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının tam yükte birincil kazan olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Mevcut durumda Teta buhar kazanının daha verimli olması nedeniyle Teta buhar kazanının birincil kazan olarak, Selnikel buhar kazanının ikincil kazan olarak çalışması ile yakıttan tasarruf sağlanabilir. Kazanlarda enerji verimliliği, yanmanın mükemmelliğine ve yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin kazan içindeki akışkana transfer oranına, baca gazı emisyonları ise yine yanmanın kalitesine, brülör tasarımına, ayrıca kullanılan yakıt içerisindeki kirleticilere bağlı olmaktadır. Bu nedenle, işletme döneminde, kazanlarda termik verimin sürekli olarak yüksek tutulabilmesi ve emisyonların kontrol edilebilmesi için baca gazı bileşenlerinin sürekli veya periyodik olarak izlenmesi ve yanmaya etki eden parametrelere zamanında müdahale edilmesi gerekmektedir.

4.2. Yalıtım

Sıcaklık farklılığı olan iki ortam arasında ısı transferi olur. Isı transferi termodinamik yasalarında da belirtildiği üzere sıcaklığı yüksek ortamdan düşük ortama gerçekleşir ve sıcaklık düzeyleri dengeleninceye kadar devam eder. Bu ısı geçişini en aza indirmek için yapılan uygulamalara ısı yalıtımı denir. Isı yalıtımı, insan yaşam standartlarını, konfor düzeyini ve iş yapabilme kabiliyetini doğrudan etkilemektedir. Endüstriyel tesislerde ekonomik kazanç ve kayıp bilançoları oluşturmada, ürün kalitesini etkilemekte ve benzeri birçok proseste etkinliğini göstermektedir. Isı yalıtımı uygulamaları ile ekonomik kazanç sağlanır, ısı konfor düzeyi yükseltilir, küresel ısınmayı etkileyen proseslerde düşük emisyon kazanımları sağlanır. Ayrıca kolay uygulanabilir olması ve geri ödeme süresinin kısa olması sebebi ile yatırım projesi kabul oranı yüksektir.

Isı yalıtım çalışmalarında doğru hesaplama, malzeme seçimi ve doğru tasarım çok önemlidir. Bu çalışmalar için öncelikle ısı kayıplarını görünür hale getirmek gerekir. Isı kayıplarını tespit etmek için genellikle termal kamera cihazlarından faydalanılmaktadır.

Örnek bir ısı kayıpları görünür düzeyi Şekil 4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Örnek Isı Yalıtım Çalışması (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 d)

Isı yalıtımı ile ilgili TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Yapı Malzemeleri Yönetmeliği dokümanlarda ısı yalıtım uygulaması hakkında tüm standartlar mevcuttur. Bu yönetmelik ve standartlar doğrultusunda ısı yalıtım uygulamaları yapılmaktadır.

Isı yalıtım uygulamalarında en önemli konulardan birisi de doğru hesaplama ile tam verime ulaşmaktır. Bu proseslerde birçok dikkate alınması gereken husus vardır. Isı transferi ışınım, taşınım ve iletim yolu ile gerçekleşebilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 d).

İletim yolu ile ısı transferi moleküllerin doğrudan birbiri ile çarpışması sonucu oluşmaktadır.

İletim ısı transferi aşağıdaki formül 4.6 ile hesaplanır;

$$Q = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (4.6)$$

k = Isı İletim Katsayısı

A = Isı Geçişine Dik Alan

dT / dx = Sıcaklık Gradyanı

Taşınım yolu ile ısı transferi hareket halindeki akışkanların yüzey ile temas etmesi sonucu sıcaklık farkının bulunması durumunda gerçekleşen ısı transferi yoludur.

Taşınım ile ısı transferi aşağıdaki formül 4.7 ile hesaplanır;

$$q = U * (T_2 - T_1) \quad (4.7)$$

q = Isı Akış Yoğunluğu (W/m^2)

T_2 = İç Ortam Sıcaklığı (K)

T_1 = Dış Ortam Sıcaklığı (K)

U = Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m^2K)

İletim ve taşınım ile olan ısı geçirgenlik direnci aşağıdaki formül 4.8 ile hesaplanır;

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (4.8)$$

U = Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m^2K)

R_i = İletim ile Oluşan Isıl Geçirgenlik Katsayısı

R = Yüzey Isıl Geçirgenlik Katsayısı

R_e = Taşınım ile Oluşan Isıl Geçirgenlik Katsayısı

İşinim ile ısı transferi, ısının elektromanyetik dalgalar ile yüzeye temas etmesine denir.

İşinim ile ısı transferi aşağıdaki formül 4.9 ile hesaplanır;

$$q = \varepsilon * \sigma * (T_2^4 - T_1^4) \quad (4.9)$$

q = İşinim Isı Transferi

σ = Boltzman Sabiti ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)

ε = Yüzey Malzeme Neşretme Katsayısı ($0 < \varepsilon < 1$)

T_2 = Yüzey Sıcaklığı (K)

T_1 = Yüzeye Tesir Eden Sıcaklık (K)

Isı transferi uygulamalarında yüzeyin ısıl geçirgenlik direnci hesaplanmalıdır.

Isı yalıtımı uygulamalarında kullanılan yalıtım malzemeleri uygun tasarıma istinaden seçilmelidir. Avrupastandartlarında ısıl iletkenlik katsayıları 0,06-0,10 W/m^2K olan malzemeler standartta uygun yalıtım malzemesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda proses sıcaklığı ve ortam koşulları göz önünde bulundurularak izolasyon malzemesi anlamında taş yünü, cam yünü, seramik elyaf, cam elyaf, aerjel vb. malzemeler kullanılmaktadır. Malzemelerin seçiminde izole edilmesi gereken yüzeyin mevcut şartları göz önünde bulundurulmalıdır. İzolasyon malzemelerinin seçiminde göz önünde alınması gereken başlıca özellikler şunlardır;

- Düşük ısı iletkenlik katsayısı

- Yeterli basınç mukavemetine sahip olması, zamanla çökme yapmaması
- Yeterli çekme mukavemetine sahip olması
- Kullanılan sıcaklıkta bozulmaması
- Özelliklerini zaman içinde kaybetmemesi ve çürümemesi
- Kimyasal kararlılık
- Yanmazlık ve alev geçirmezlik
- Suya ve neme karşı yüksek dayanım
- Uygulama ve işçilik kolaylığı
- Kokusuz olması
- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi, kaşıntı ve alerji yapmaması
- Detay bazında ekonomik olması

Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı, yüksek sıcaklığa sahip ortamdan düşük sıcaklığa sahip ortama doğru hareket etmektedir. Yani sıcak ortamdan soğuk ortama doğru bir ısı akışı söz konusudur. Kaçan ısıyı en aza indirebilmek için çeşitli yollarla yalıtım yapılması gerekmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 d).

4.2.1. Yalıtım Ölçüm ve Analizleri

Enerji etüdü kapsamında yapılan izolasyon ölçümlerinde işletmede bulunan vanalar termal kamera ve yüzey sıcaklık probu ile incelenmiştir.

Termal kamera ile görüntüleme yöntemi sonucu gözle görülmeyen ısı enerjisi referans alınarak görüntünün renklendirilmesi sağlanmış, böylelikle sıcaklığın yüksek olduğu noktalar belirlenmiştir. Yalıtım prosesi için referans değerler Tablo 4.11. de verilmiştir ve yıllık çalışma saati 8.400 saat kabul edilmiştir.

Tablo 4.11. Yalıtım Prosesi Referans Değerleri

Yalıtım sonrası hedeflenen yüzey sıcaklığı	: T_s	50°C
Emissivite değeri	: ε	0,95
Stefan-Boltzmann sabiti	: φ	$5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{°K}^4\text{)}$
Radyasyonla olan ısı transfer katsayısı	: h_r	$(\text{W/ m}^2 \text{ °K})$
Taşıma katsayısı	: h_c	$(\text{W/ m}^2 \text{ °K})$

İzolasyon ölçümleri sonuçlarına göre sıcak yüzeylerdeki ısı kaybı hesaplanmıştır. Sıcak yüzeylerde gerçekleşen ısı kaybının önlenmesi için yüzeylere izolasyon uygulaması önerilmiştir. Vanalarda, hatlarda ve yüzeylerde izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı tasarruf önerileri bölümünde Tablo 4.12. Tablo 4.13. ve Tablo 4.14. de verilmiştir.

4.2.2. Tasarruf önerileri

İzolasyon kontrollerinde tespit edilen noktalara izolasyon uygulamasıyla sıcak yüzeylerdeki ısı kaybının azalabileceği ve yakıt tüketiminde azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.



Tablo 4.12. Vanalarda izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı

No	Ekipman	Mevcut Durum			Uygulama Sonrası			Tasarruf		
		Tort.	hr	hc	Enerji Kaybı	hr	hc	Enerji Kaybı	Enerji Tasarrufu	Yıllık Enerji Tasarrufu
		°C	W/m ² K	W/m ² K	W	W/m ² K	W/m ² K	W	W	kWh/yıl
1	Vakum-6 giriş kat ön ısıtma buhar vanası 1	185,2	12,06	10,06	173,28	5,92	5,35	7,03	166,25	1.396,50
2	Vakum-6 giriş kat ön ısıtma buhar vanası 2	188,3	12,23	10,11	178,33	5,92	5,35	7,03	171,30	1.438,92
3	Selnikel kazan yanı kolektör hattı	194,6	12,57	8,23	718,02	5,92	4,31	26,60	691,42	5.807,93
4	Selnikel kazan ana buhar çıkış vanası	197,8	12,75	8,27	739,06	5,92	4,31	26,60	712,46	5.984,66
5	Selnikel kazan ana buhar çıkışı çekvalf	199,7	12,85	8,29	751,32	5,92	4,31	26,60	724,72	6.087,65
6	Kazan dairesi ortak buhar hattı vana	198,5	12,79	7,51	1.461,84	5,92	3,91	52,14	1.409,70	11.841,48
7	Teta kazanı besiy suyu vanası	80,3	7,41	6,27	159,51	5,92	4,31	26,60	132,91	1.116,44
8	Teta kazanı besiy suyu çekvalf	80,6	7,42	6,28	160,56	5,92	4,31	26,60	133,96	1.125,26
9	Teta kazanı ana buhar vanası 1	195,6	12,63	8,24	724,61	5,92	4,31	26,60	698,01	5.863,28
10	Teta kazanı ana buhar vanası 2	198,5	12,79	7,51	1.461,84	5,92	3,91	52,14	1.409,70	11.841,48
11	Teta kazanı ana buhar hattı çekvalf	199,1	12,82	8,28	747,36	6,38	5,22	64,96	682,40	5.732,16
12	NF buhar kolektör hattı	114,2	8,72	7,03	290,43	6,38	5,22	64,96	225,47	1.893,95
13	Vakum-2 kolektör hattı vana 1	198,3	12,78	8,27	742,22	6,38	5,22	64,96	677,26	5.688,98
14	Vakum-2 kolektör hattı vana 2	198,4	12,78	8,27	742,64	6,38	5,22	64,96	677,68	5.692,51
15	Vakum-3 kolektör hattı vana 1	198,6	12,79	8,81	518,78	6,38	5,56	45,47	473,31	3.975,80
16	Vakum-3 kolektör hattı vana 2	199,3	12,83	8,82	522,04	6,38	5,56	45,47	476,57	4.003,19
17	Vakum-3 kolektör hattı vana 3	198,9	12,81	8,82	520,38	6,38	5,56	45,47	474,91	3.989,24
18	Vakum-3 kolektör hattı vana 4	196,9	12,70	8,79	511,17	6,38	5,56	45,47	465,70	3.911,88
19	Pastörize bölümü buhar vanası	123,1	9,09	8,93	87,45	6,38	6,48	17,28	70,17	589,43
20	Pastörize bölümü giriş buhar vanası	155,3	10,55	9,57	128,74	6,38	6,48	17,28	111,46	936,26
21	Eva-1 buhar giriş vanası 1	195,5	12,62	10,22	190,21	6,38	6,48	17,28	172,93	1.452,61

22	Eva-1 buhar hattı çekvalf	194,1	12,54	10,20	187,85	6,38	6,48	17,28	170,57	1.432,79
23	Eva-1 buhar hattı pislik tutucu	196,2	12,66	10,23	191,40	6,38	6,48	17,28	174,12	1.462,61
24	Eva-1 buhar kolektörü vana 1	195,6	12,63	9,22	394,49	6,38	5,84	35,58	358,91	3.014,84
25	Eva-1 buhar kolektörü vana 2	202,7	13,02	9,31	419,64	6,38	5,84	35,58	384,06	3.226,10
26	Eva-1 buhar kolektörü vana 3	203,5	13,07	9,32	422,63	6,38	5,84	35,58	387,05	3.251,22
27	Eva-1 buhar kolektörü vana 4	206,6	13,24	9,36	433,88	6,38	5,84	35,58	398,30	3.345,72
28	Eva-1 buhar kolektörü vana 5	203,5	13,07	9,32	422,63	6,38	5,84	35,58	387,05	3.251,22
29	Buhar kolektörü ana giriş vanası	211,0	13,50	8,42	828,58	6,38	5,22	64,96	763,62	6.414,41
30	Küçük vakum makinesi ana buhar vanası	199,3	12,83	8,82	522,04	6,38	5,56	45,47	476,57	4.003,19
31	Küçük vakum makinesi altı buhar kolektör vanası	185,0	12,05	9,07	358,03	6,38	5,84	35,58	322,45	2.708,58
32	Küçük vakum makinesi altı buhar hattı pislik tutucu	187,6	12,19	9,11	366,84	6,38	5,84	35,58	331,26	2.782,58
33	Küçük vakum makinesi altı buhar hattı çekvalf	192,5	12,46	9,18	383,72	6,38	5,84	35,58	348,14	2.924,38
34	Kule-1 ana buhar hattı vana	195,1	12,60	9,21	392,63	6,38	5,84	35,58	357,05	2.999,22
35	Tereyağı işletmesi buhar kolektörü vana 1	166,2	11,08	9,76	144,25	6,38	6,48	17,28	126,97	1.066,55
36	Tereyağı işletmesi buhar kolektörü vana 2	172,4	11,40	9,86	153,48	6,38	6,48	17,28	136,20	1.144,08
37	Tereyağı işletmesi buhar kolektörü vana 3	173,3	11,44	9,88	154,83	6,38	6,48	17,28	137,55	1.155,42
38	Ön pastörize buhar kolektörü vana 1	182,6	11,92	9,48	247,45	6,38	6,13	25,22	222,23	1.866,73
39	Ön pastörize buhar kolektörü vana 2	185,6	12,08	9,53	254,55	6,38	6,13	25,22	229,33	1.926,37
40	Ön pastörize buhar kolektörü vana 3	186,6	12,14	9,10	363,59	6,38	5,84	35,58	328,01	2.755,28
41	Ön pastörize buhar kolektörü vana 4	179,5	11,76	9,00	340,05	6,38	5,84	35,58	304,47	2.557,55
42	Ön pastörize buhar kolektörü vana 5	177,3	11,65	8,53	426,22	6,38	5,56	45,47	380,75	3.198,30
43	Kule 5 operatör odası katı buhar vanası	191,5	12,40	8,19	698,00	6,38	5,22	64,96	633,04	5.317,54

Tablo 4.13. Hatlarda izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı

No	Ekipman	Mevcut Durum					Uygulama Sonrası			Tasarruf	
		Uzunluk	Tyüzey	h_r	h_c	Enerji Kaybı	h_r	h_c	Enerji Kaybı	Enerji Tasarrufu	Yıllık Enerji Tasarrufu
		m	°C	W/m ² K	W/m ² K	W	W/m ² K	W/m ² K	W	W	kWh/yıl
1	Vakum 6 giriş kat ön ısıtma buhar hattı	4	126,0	11,68	9,95	2.058,31	6,38	6,48	219,65	1.838,66	15.444,74
2	Kazan dairesi kule 4 karşısı kompansatör	0,50	130,5	6,89	6,52	64,02	6,38	5,84	37,64	26,38	221,59
3	NF buhar kolektör hattı	1	136,5	8,73	7,04	525,14	6,38	5,22	116,93	408,21	3.428,96
4	Kule 4 Holder hattı	7	80,0	9,19	6,87	5.152,85	6,38	4,96	984,31	4.168,54	35.015,74

Tablo 4.14. Yüzeylerde izolasyon eksikliklerinin giderilmesi tasarruf hesabı

Ekipman	Mevcut Durum					Uygulama Sonrası			Tasarruf		
	Alan	Tyüzey	h_r	h_c	Enerji Kaybı	h_r	h_c	Enerji Kaybı	Enerji Tasarrufu	Yıllık Enerji Tasarrufu	
	m ²	°C	W/m ² K	W/m ² K	W	W/m ² K	W/m ² K	W	W	kWh/yıl	
1	Teta kazanı ekonomizer yüzeyi	10	126,0	9,22	4,63	14.404,00	6,32	3,39	2.913,00	11.491,00	96.524,40
2	Radyatör ısıtma yüzeyi	7	130,5	9,41	4,68	10.701,36	6,32	3,39	2.039,10	8.662,26	72.762,98
3	Selnikel kazan ön yüzey	0,72	136,5	9,68	4,74	1.188,78	6,32	3,39	209,74	979,04	8.223,94
4	Selnikel kazan ön yüzey	0,72	80,0	7,40	4,00	476,06	6,32	3,39	209,74	266,32	2.237,09

4.3. Kompresörler

Bir sistem içerisinde dış ortamdan alınan havanın sıkıştırılması yöntemi ile elde edilen ikincil enerji türüne basınçlı hava denir. Emniyetli ve kolay üretilen bir kaynak olması sebebi ile endüstrilerde ve birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. Elektrik, buhar ve benzeri diğer üretilen enerji kaynakları türlerinde enerji maliyeti açısından basınçlı hava üretimi yüksek maliyetler oluşturmaktadır (Öztemir, 2010).

Basınçlı hava sistemlerinin en temel elemanı kompresörlerdir. Kompresörler emiş kanalı tarafından çektikleri havayı, sıkıştırma işlemi ile sıcaklığını ve basıncını artırma görevini sağlarlar. Kompresörler, mekanik enerjiyi veya elektrik enerjisini kullanarak basınçlı hava üretirler. Bir kompresörün maliyet değişkenlerinin %5'i yatırım, %9'u bakım ve %86'sı enerjidir (Karen, 2022).

Endüstriyel tesislerde yapılan enerji verimliliği çalışmalarında basınçlı hava sistemlerindeki enerji tasarruf başlıkları şu şekildedir;

- Kompresörlerin uygun tipte ve tasarımda olması
- Kompresöre giren hava kalitesinin soğuk, temiz ve kuru özellikte olması
- Sistem elemanlarının bakım-onarım uygulamalarının düzenli sağlanması
- Basınçlı hava hatlarının boru çapı tayininin doğru hesaplanması
- Hat boyunca oluşan veya oluşabilecek hava kaçaklarının önlenmesi
- Hava tankı ve kurutucuların uygun tasarlanması (Hadra, 2018).

Kompresörler de Özgül Enerji Tüketim değerlendirmesi enerji verimliliği çalışmaları açısından önemlidir. Özgül Enerji Tüketim (ÖET) değeri, kompresörün tükettiği enerjinin basınçlı hava üretimi ile oranlanması ile tespit edilir. Tablo 4.15. de bir kompresörün ÖET değerine bağlı olarak değerlendirme verileri gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Kompresör ÖET Değerine Göre Enerji Verimliliği Değerlendirmesi (Sapmaz ve Kaya, 2017)

Özgül Enerji Tüketimi (ÖET) kWh/m ³	Enerji Verimliliği Değerlendirmesi
0,085-0,11	Çok İyi
0,11-0,13	İyi
>0,13	Yüksek

Kompresörlerde enerji verimliliğinin maksimum gözlendiği seviye, tam yükte çalışma prensibinde gerçekleşir. Lakin sistem içerisinde debi ihtiyacı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle kontrol mekanizmaları sayesinde %5-20 arasında enerji verimliliği sağlamak mümkündür (Karen, 2022).

Toplam kapasite, sistem elemanlarının normal yük değerlerine uygun olmalıdır. Kompresörün serbest hava veriminin yükte çalışma zamanına olan oranına yük faktörü denir. Yük faktörünün değerleri %50-70 arasında olmalıdır.

Spesifik güç tüketimi 1 birim havayı dağıtmak için kompresörden tüketilen güç miktarına denir.

Spesifik güç tüketimi = Kompresör tarafından çekilen güç / Kompresör tarafından sağlanan debi

Spesifik güç tüketim değerinin küçük olması enerji verimliliğinin yüksek olduğunu ifade etmektedir (Karen, 2022). Kompresör tiplerine göre spesifik güç tüketim değer aralıkları Tablo 4.16. da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Kompresör tiplerine göre spesifik güç tüketim değer aralıkları (Karen, 2022)

Kompresör Tipi	kWh (lt/s, 7bar)
Vidalı kompresörler (küçük kapasiteli) yağlı	0,36-0,43
Vidalı kompresörler (büyük kapasiteli) yağsız	0,34-0,40
Rotary kompresörler yağlı	0,40-0,43
Küçük pistonlu kompresörler	0,36-0,54
Büyük pistonlu kompresörler	0,29-0,36

Kompresörün boшта çalışma yükü tam yükte çalışma yükü kadar önemlidir. Kompresörlerin boшта çalışma yükünde enerji tüketiminin en minimum değerinde seçilmesi, enerji tüketiminde tasarruf miktarının artacağını ifade eder. Kompresörlerin dışardan aldığı hava sıcaklığı kompresörün enerji tüketimini doğrudan etkiler. Kompresöre giren dış hava sıcaklığında k, her 5° C derecelik artış kompresörün veriminde %2'lik bir düşüşe neden olmaktadır.

- Basıncılı hava sistemleri tasarımında şu hususlar dikkate alınmalıdır;
- Borulara akış yönünde %1 eğim verilmelidir.
- Hat başlangıcı ile hat sonu arasındaki basınç düşümü 0,3 bar'dan fazla

olmamalıdır.

- Boru içerisinde basınçlı hava hızı 6 m/sn ve değerinin altında tutulmalıdır (Karen, 2022).

Basınçlı hava kaçak miktarlarında yapılan çalışmalarda tespit edilen değişik basınç ve çaplarda oluşanhava kaçak miktarları Tablo 4.17. de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Değişik Basınç ve Çaplarda Hava Kaçak Miktarları (Öztemir, 2010)

Bar	0,5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm	10 mm	12,5 mm
0,5	0,06	0,22	0,92	2,1	5,7	22,8	35,5
1,0	0,08	0,33	1,33	3,0	8,4	33,6	52,5
2,5	0,14	0,58	2,33	5,5	14,6	58,6	91,4
5,0	0,25	0,97	3,92	8,8	24,4	97,5	152,0
7,0	0,33	1,31	5,19	11,6	32,5	129,0	202,0

Basınçlı hava analizlerinde kaçak miktarı, formül 4.10 ile tespit edilir;

$$L = \frac{Q * t_1}{t_1 + t} \quad (4.10)$$

L = Toplam Kaçak Miktarı (lt/sn)

Q = Kompresör Kapasitesi (lt/sn)

t₁ = Yükte Çalışma Süresi (sn)

t = Yüksüz Çalışma Süresi

Yaklaşık olarak kaybedilen güç ise formül 4.11 ile tespit edilir;

$$\text{Kayıp Güç} = L / 3 \text{ (kw)} \quad (4.11)$$

Basınçlı Hava Kaybedilen Güç Hesabı

Kompresör kapasitesi hakkında bilgi yok ise toplam kaçak miktarı hesabı, formül 4.12 ile tespit edilir;

$$L = \frac{V * P_1 * P_2}{t} \quad (4.12)$$

L = Toplam Kaçak Miktarı (lt/sn)

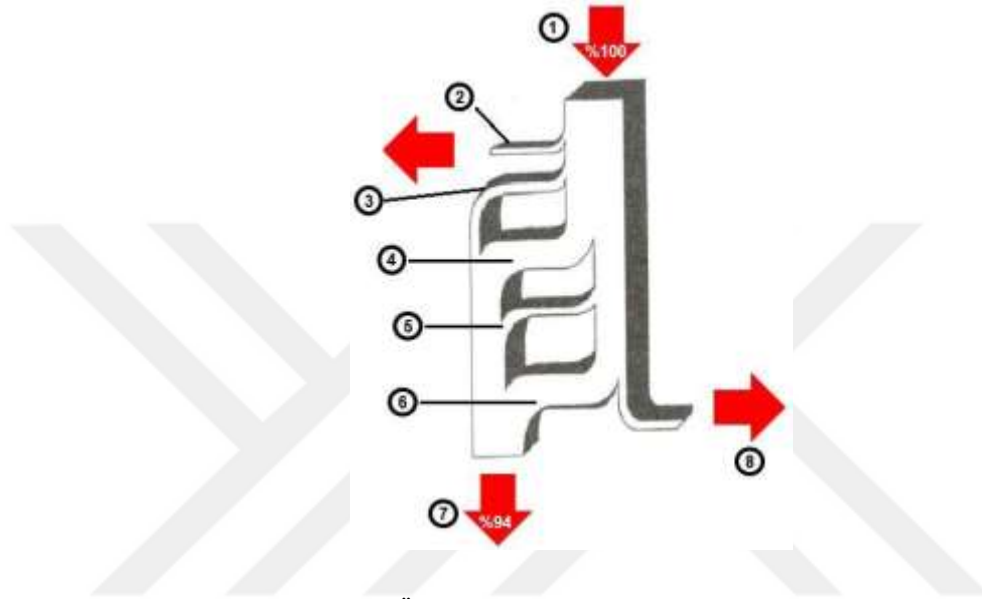
P₁ = Normal Çalışma Basıncı (bar)

P₂ = Düşük Basınç (bar)

V = Borulardaki Hava Miktarı (lt)

t = Zaman (sn)

Kompresörlerde enerji verimliliği çalışmalarında bir farklı kazanç noktası olarak atık ısı geri kazanımı dikkatimizi çekmektedir. Kompresörlerde kullanılan enerjinin %94'ü ısı enerjisi olarak açığa çıkmaktadır (Öztemir, 2010). Örnek bir Sankey Diyagramı üzerinde bir kompresöre ait enerji giriş ve çıkış bağlantıları Şekil 4.3. de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek bir Sankey Diyagramı (Karen,2022)

- 1.Elektrik motoruna verilen güç
- 2.Radyasyon kaybı
- 3.Alçak basınç kademesinden ısı geri kazanımı
4. Ara soğutucundan ısı geri kazanımı
5. Yüksek basınç kademesinden ısı geri kazanımı
6. Son soğutucundan ısı geri kazanımı
- 7.Teorik olarak geri kazanılabilir ısı
- 8.Basınçlı havada kalan ısı

Kompresörlerde gerçekleşen bu ısıl dönüşümlerin yaklaşık %81'i geri kazanılabilir. Atık ısı geri kazanım sistemleri ile besi suyu ön ısıtmaları sağlanabilir ve çeşitli proseslerde sıcak su kullanımı ve benzeri faydalı enerji türlerinde kullanılabilir (Karen, 2022).

4.3.1. Kompresör Ölçüm ve Analizleri

İşletmede 2 adet aktif, 1 adet yedek olmak üzere toplamda 3 adet kompresör bulunmaktadır. Kompresörlerde 6,7 bar basınçta basınçlı hava üretilmektedir. Kompresörlerde üretilen basınçlı hava, ilk olarak basınçlı hava tankına devamında ise işletmelerde bulunan basınçlı hava kurutucularına transfer edilmektedir. Üretilen basınçlı hava kulelerde, vakum ünitelerinde, kazein ünitesinde, kazandıresinde ve kahvaltılık ürün ünitelerinde kullanılmaktadır.

Kompresörlerde ve basınçlı hava hatlarında enerji verimliliği kapsamında, işletmede yapılan ölçümler elektriksel ve mekanik ölçümler olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Elektriksel ölçümler, kompresörleri tahrik eden elektrik motorlarından alınan ölçümleri kapsamaktadır. Mekanik ölçümler ise kompresörlerin basınç, sıcaklık değerleri, hava debileri ve hava kaçakları ölçümlerini kapsamaktadır.

Kompresörlerin spesifik enerji tüketimlerinin ve iyileştirme fırsatlarının belirlenebilmesi için kompresörlerde üretilen basınçlı hava debisi ve basınçlı hava sıcaklığı basınçlı hava debimetresi ile ölçülmüştür.

Kompresörlerin çalışma basıncı işletme yetkililerinden temin edilmiştir. Bağlı nem, bağlı nem probu ile ölçülmüştür. Kompresörlerde tüketilen elektrik miktarı enerji analizörü ile ölçülmüştür.

İşletmede ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava hatları taranarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarı “UE SYSTEMS UP 3000” ultrasonik sızıntı dedektörü ile tespit edilmiştir. Cihazdan okunan dB değeri cihazın yazılımıyla hacimsel debiye dönüştürülmüştür.

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 sızıntısı 71 noktada tespit edilmiştir.

Spesifik enerji tüketimi 1 Nm³ hava üretebilmek için harcanan enerji miktarıdır (kWh/Nm³). Yapılan ölçümler sonucunda kompresörlerin spesifik enerji tüketimleri belirlenmiştir. Kompresörlerden alınan bilgi ve ölçümler Tablo 4.18. de verilmiştir. Kompresörlere ait SET (Spesifik Enerji Tüketimi) değerleri Tablo 4.19. da verilmiştir.

Spesifik enerji tüketiminin ideal seviyesi kompresörlerin basınç set değeri, kompresör tipi ve kompresör soğutma sistemi vb. parametrelere göre değişiklik

göstermektedir. Örneğin 6-7 bar basınç aralığında çalışan vidalı kompresörler için spesifik enerji tüketiminin 0,1200 kWh/Nm³ ($\pm 0,0100$ kWh/Nm³) mertebelerinde olması beklenirken, 7-8 bar basınç aralığında çalışan vidalı kompresörlerin ise spesifik enerji tüketiminin 0,1300 kWh/Nm³ ($\pm 0,0100$ kWh/Nm³) mertebelerinde olması beklenmektedir.

Tablo 4.18. Kompresörlerden alınan bilgi ve ölçümler

Kompresör	Kontrol Yöntemi	Model	Etiket Gücü	Etiket Debisi	Etiket Basıncı	AktifGüç	Basıncılı Hava Debisi	Çalışma Basıncı	Basıncılı Hava Sıcaklığı
			kW	m ³ /dk	bar		Nm ³ /dk		°C
Özen Kompresör	VSD	OSC 150 VS	110	19,2	7,5	84,7	8,2	6,7	30
Dalgakıran Kompresör	VSD	İNV 132P	132	24,3	7,5	99,0	10,8	6,7	31
Atlas Copco	Y/Δ	ZT75 Yağsız	75	-	-	89,5	9,0	6,8	21,5

Tablo 4.19. Kompresörlerin spesifik enerji tüketimleri

Kompresör Adı	AktifGüç	Basıncılı Hava Debisi	Çalışma Basıncı	Spesifik EnerjiTüketimi
	kW	Nm ³ /dk	bar	kWh/Nm ³
Özen Kompresör	84,7	8,2	6,7	0,1722
Dalgakıran Kompresör	99,0	10,8	6,7	0,1528
Atlas Copco	89,5	9,0	6,8	0,1657

Özen kompresör, dalgakıran kompresörü ve Atlas Copco kompresörünün spesifik enerji tüketimleri aynı çalışma şartlarında çalışabilecek verimli kompresörlerin spesifik enerji tüketimleriyle kıyaslandığında kompresörlerin spesifik enerji tüketimlerinin iyi/ideal seviyelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Özen kompresör, dalgakıran kompresörü ve Atlas Copco kompresörünün spesifik enerji tüketimi daha düşük kompresörler ile değişimiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir. Özen kompresörünün spesifik enerji tüketimi daha düşük VSD'li kompresör ile değiştirilmesi ve Dalgakıran kompresörünün ise Y/Δ kompresör ile değiştirilmesi öngörülmektedir. Atlas Copco kompresörünün yedek olması nedeniyle yatırım maliyetinin tasarrufun mali değerine oranının yüksek olduğu öngörülmektedir. Bu nedenle, Atlas Copco kompresörüne ait yıllık enerji tasarrufu potansiyeli

hesaplanmamıştır.

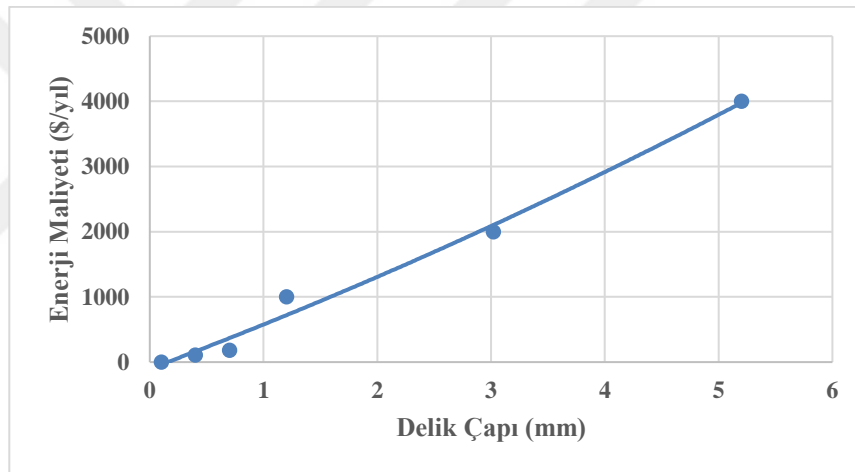
Özen kompresör ve dalgakıran kompresörünün spesifik enerji tüketimi daha düşük kompresörler ile değişimiyle öngörülen enerji tasarrufu hesabı Tablo 4.20.de verilmiştir.



Tablo 4.20. Özen kompresör ve dalgakıran kompresörünün spesifik enerji tüketimleri daha düşük kompresörler ile değiştirilmesiyle öngörülen enerji tasarrufu hesabı

Kompresör Adı	Mevcut Durum				Uygulama Sonrası			Tasarruf
	Hava Debisi	Yıllık Hava Debisi	Yıllık Enerji Tüketimi	Spesifik Enerji Tüketimi	*Spesifik Enerji Tüketimi	Yıllık Üretilen Hava Debisi	Yıllık Enerji Tüketimi	Yıllık Enerji Tasarrufu
	Nm ³ /dk	Nm ³ /yıl	kWh/yıl	kWh/Nm ³	kWh/Nm ³	Nm ³ /yıl	kWh/yıl	kWh/yıl
Özen Kompresör	8,20	4.132.800,00	711.668,16	0,1722	0,1260	4.132.800,00	520.732,80	190.935,36
Dalgakıran Kompresör	10,80	5.443.200,00	831.720,96	0,1528	0,1200	5.443.200,00	653.184,00	178.536,96

Basınçlı 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. 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 dinlemeler ile bulunabildiği gibi bu amaçla geliştirilmiş ultrasonik ses dedektörleri ile de tespit edilebilir. Şekil 4.4. de basınçlı hava kaybının delik çapına oranla enerji kaybı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Delik Çapı Değişkeni ile Enerji Kaybı Artışı (Öztemir, 2010)

Şekil 4.4. de görüldüğü üzere kayıp olan basınçlı hava miktarı delik çapının büyüklüğüyle eksponansiyel olarak artmaktadır. Delik çaplarından ve ilgili değişkenlerden meydana gelen güç kayıpları, formül 4.13 ile hesaplanabilir;

$$\text{Güç Kaybı} = \frac{\{P_i * V_f * \left[\frac{k}{k-1}\right] * N * \left[\left(\frac{P_0}{P_i}\right)^{(k-1)/(k*N)} - 1\right]\}}{E_a * E_m} \quad (4.13)$$

V_f : Kaçan hava debisi, m³/s

k : Havanın spesifik ısı oranı, 1,4

N : Kademe sayısı

P_0 : Kompresör çalışma basıncı, kPa

E_a : Kompresör adiyabatik verimi

E_m : Kompresör motor verimi

Yıllık enerji kazancı, formül 4.14 ile hesaplanır;

$$\text{Enerji Kazancı} = \text{Güç Kaybı} * \text{Çalışma Süresi} \quad (4.14)$$

Yıllık maliyet kazancı, formül 4.15 ile hesaplanabilir;

$$\text{Maliyet Kazancı} = \text{Enerji Kazancı} * \text{Birim Kullanma Maliyeti} \quad (4.15)$$

(Öztemir, 2022)

Basıncılı hava kaçaklarının enerji kaybı ve maliyeti Tablo 4.21. de verilmiştir.

Tablo 4.21. Basıncılı hava kaçaklarının enerji kaybı

Ölçüm No	Ekipman Adı	Ölçüm Değeri	Hacimsel Debi	Güç Kaybı	Yıllık Enerji Kaybı
		dB	l/sn	kW	kWh/yıl
1	Kule-2 3. kat toz filtresi ana hava bağlantısı	45	1,0619	0,3794	3.186,96
2	Kule-2 filtre kollektör altı vana	68	1,9803	0,7075	5.943,00
3	UF-2 makinesi otomatik vana	65	1,6731	0,5978	5.021,52
4	NF-2 ana hava giriş şartlandırıcı yanı dirsek	55	1,1987	0,4283	3.597,72
5	Kule-2 toz alım filtresi-1	48	1,0959	0,3915	3.288,60
6	Kule-2 toz alım filtresi-2	55	1,1987	0,4283	3.597,72
7	Kule-4 toz alım silosu patlacı	54	1,2063	0,4310	3.620,40
8	Kule-4 kaçak toz vanası	50	1,2365	0,4418	3.711,12
9	Kule-2 toz alım hava panosu valf	48	1,0959	0,3915	3.288,60
10	Vakum-2 pano açık hortum	60	1,1610	0,4148	3.484,32
11	Vakum-2 pano kollektörü hava girişi	60	1,1610	0,4148	3.484,32
12	Kule-3 filtre patlatması	55	1,1987	0,4283	3.597,72
13	Kule-3 ürün filtre klapesi	56	1,1912	0,4256	3.575,04
14	Kule filtre patlaç valfi	65	1,6731	0,5978	5.021,52
15	Kule-3 filtre vibratörlerinin dağıtıcısı	55	1,1987	0,4283	3.597,72
16	Vals bölümü silo patlacı	50	1,2365	0,4418	3.711,12
17	Pastörize geri dönüşüm seperatör otomatik vana manometresi	50	1,2365	0,4418	3.711,12
18	Pastörizatör-4 kontrol panosu yanı şartlandırıcı	67	1,8779	0,6709	5.635,56
19	Pastörizatör-1 kontrol panosu yanı şartlandırıcı hava giriş vanası	48	1,0959	0,3915	3.288,60
20	Kule-4 nozul katı hava panosu arkası T bağlantı	74	2,5948	0,9271	7.787,64
21	Kule-4 nozul hava dağıtıcıları boru 1	60	1,1610	0,4148	3.484,32
22	Kule-4 nozul hava dağıtıcıları boru 6	62	1,3658	0,4880	4.099,20
23	Kule-4 nozul katı oransal vana bağlantısı	63	1,4682	0,5246	4.406,64
24	Kule-4 jet filtre patlatma hava jack-1	60	1,1610	0,4148	3.484,32

25	Kule-4 jet filtre patlatma hava jack-2	63	1,4682	0,5246	4.406,64
26	Kule-4 jet filtre patlatma hava jack-3	65	1,6731	0,5978	5.021,52
27	Kule-4 jet filtre patlatma hava jack-4	70	2,1851	0,7807	6.557,88
28	Kule-4 hava tokmakları panosu	52	1,2214	0,4364	3.665,76
29	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-1	65	1,6731	0,5978	5.021,52
30	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-2	75	2,6972	0,9637	8.095,08
31	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-3	45	0,8849	0,3162	2.656,08
32	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-4 şartlandırıcı dirsek-1	50	1,2365	0,4418	3.711,12
33	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-4 şartlandırıcı dirsek-2	52	1,2214	0,4364	3.665,76
34	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-5 şartlandırıcı dirsek	55	1,1987	0,4283	3.597,72
35	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-6 vana	76	2,7996	1,0003	8.402,52
36	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-6	50	1,2365	0,4418	3.711,12
37	Kule-4 kule kapısı katı hava tokmağı-7	71	2,2875	0,8173	6.865,32
38	Kule-4 jet filtre katı havalı vanalar panosu	63	1,4682	0,5246	4.406,64
39	Kule-4 jet filtre 1 nolu hava vanası	52	1,2214	0,4364	3.665,76
40	Kule-4 jet filtre taban hava vanası	55	1,1987	0,4283	3.597,72
41	Kule-4 jet filtre taban tokmak 5	57	1,1836	0,4229	3.552,36
42	Kule üçe gönderilen hava vanası	54	1,2063	0,4310	3.620,40
43	Kule-5 band havalı ip	45	0,8849	0,3162	2.656,08
44	Kule-5 baca borusu rögar vanası	45	0,8849	0,3162	2.656,08
45	Kule-5 rögar vanaları dağıtım panosu-1	60	1,1610	0,4148	3.484,32
46	Kule-5 rögar vanaları dağıtım panosu-2	63	1,4682	0,5246	4.406,64
47	Kule-4 hava fanları odası yanı pano	60	1,1610	0,4148	3.484,32
48	Kule-4 tabanı kule tokmakları 3 nolu tokmak	55	1,1987	0,4283	3.597,72
49	Kule-4 fluidbede hava basan motorun oransal vana	57	1,1836	0,4229	3.552,36
50	Yoğurt ayran bölümü ayran dolun makinası hava panosu-1	51	1,2290	0,4391	3.688,44
51	Yoğurt ayran bölümü ayran dolun makinası hava panosu-2	62	1,3658	0,4880	4.099,20
52	Yoğurt ayran bölümü ayran dolun makinası hava panosu-3	58	1,1761	0,4202	3.529,68
53	Yoğurt ayran bölümü ayran dolun makinası hava panosu-4	53	1,2138	0,4337	3.643,08
54	Kule-4 fluidbed odası pano yanı manometre	50	1,2365	0,4418	3.711,12
55	Kule-4 fluidbed odası pano içi	45	0,8849	0,3162	2.656,08
56	Kule-4 fluidbed odası pano üzeri hortum	100	5,2575	1,8784	15.778,56
57	Vakum altı hava panosu v5003 selenoid valf	52	1,2214	0,4364	3.665,76
58	Kule-1 zemin kat tokmak	45	0,8849	0,3162	2.656,08
59	Kule-1 filtre patlatma vanası	55	1,1987	0,4283	3.597,72
60	Kule-1 filtre patlacı	55	1,1987	0,4283	3.597,72

61	Elektrikli vakum-1 hava panosu şartlandırıcı	53	1,2138	0,4337	3.643,08
62	Elektrikli vakum bölümü panodaki ana hortum-1	70	2,1851	0,7807	6.557,88
63	Elektrikli vakum bölümü panodaki ana hortum-2	65	1,6731	0,5978	5.021,52
64	Elektrikli vakum bölümü panodaki ana hortum-3	59	1,1685	0,4175	3.507,00
65	Elektrikli vakum bölümü panodaki selenoid-1	67	1,8779	0,6709	5.635,56
66	Elektrikli vakum bölümü panodaki selenoid-2	70	2,1851	0,7807	6.557,88
67	Kahvaltılık ürünü form makinesi kalıp vanası	55	1,1987	0,4283	3.597,72
68	Kahvaltılık UHT makinesi hava girişi	59	1,1685	0,4175	3.507,00
69	Kahvaltılık UHT makinesi üç yollu buhar vanası	65	1,6731	0,5978	5.021,52
70	Kahvaltılık peynir pişirme stepan makinesi manometre vanası	45	0,8849	0,3162	2.656,08
71	İyon reçine bölümü VA42 vana	50	1,2365	0,4418	3.711,12

4.3.2. Tasarruf önerileri

Spesifik enerji tüketimi 1 Nm³ hava üretebilmek için harcanan enerji miktarıdır (kWh/Nm³). Yapılan ölçümler sonucunda kompresörlerin spesifik enerji tüketimleri belirlenmiştir.

Özen kompresör, Dalgakıran kompresör ve Atlas Copco kompresörün spesifik enerji tüketimleri aynı çalışma şartlarında çalışabilecek verimli kompresörlerin spesifik enerji tüketimleriyle kıyaslandığında kompresörlerin spesifik enerji tüketimlerinin iyi/ideal seviyelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özen kompresör, dalgakıran kompresörü ve Atlas Copco kompresörünün spesifik enerji tüketimi daha düşük kompresörler ile değişimiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir.

Özen kompresörünün spesifik enerji tüketimi daha düşük VSD'li kompresör ile değiştirilmesi ve Dalgakıran kompresörünün ise Y/ Δ kompresör ile değiştirilmesi öngörülmektedir. Atlas Copco kompresörünün yedek olması nedeniyle yatırım maliyetinin tasarrufun mali değerine oranının yüksek olduğu öngörülmektedir.

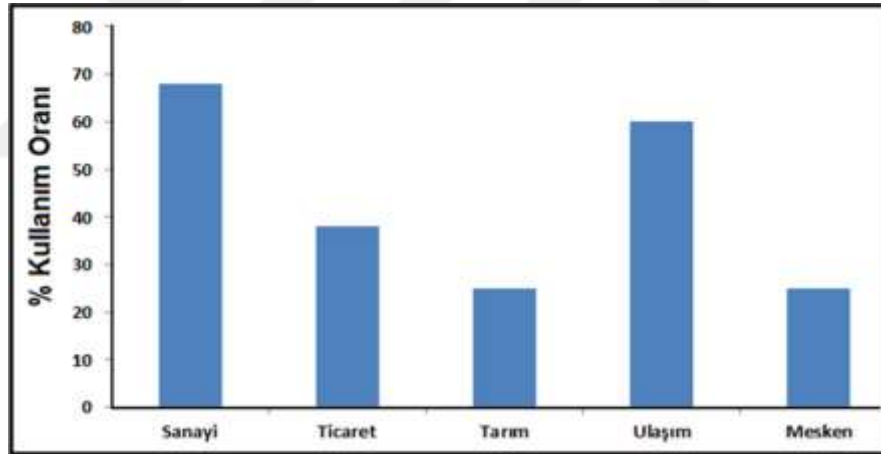
Taze hava emişinin menfezlerinin tıkanması durumunda kompresör havayı sıkıştırma gücünü kaybeder. Bu durum, kompresörün kalitesini kademeli olarak düşürmektedir. Temiz olmayan bir hava filtresi, dışarıdan gelen kire izin vererek hava kompresöre zarar vermektedir. Kompresörlerde spesifik enerji tüketiminin düşük seviyelerde tutulabilmesi için emiş tarafındaki filtreler düzenli olarak temizlenmeli, basıncı daha az düşüren filtreler kullanılmalıdır. Filtre giriş ve çıkışına basınç göstergesi yerleştirilerek, filtre değiştirme zamanları buna göre ayarlanmalıdır. Kompresörlerin çalışma rejimlerinin sistematik olarak izlenmesi, kompresörlerin periyodik kontrollerinin, bakımlarının ve filtretemizliklerinin yapılması önerilmektedir.

Belirlenen 71 noktada basınçlı hava kaçaıklarının giderilmesi sonucu enerji maliyetleri düşmekte, makinelerin kayıp zamanı en aza indirilmekte ve böylece işletme verimliliği gözle görülür şekilde artmaktadır. Basınçlı hava kaçaıklarının önlenmesi için periyodik kontrol ve bakım yapılması önerilmektedir.

4.4. Elektrik Motorları

Elektrik motorları, alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Endüstride kullanılan elektrik motorlarının büyük bir çoğunluğu 3 fazlı AC motor olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakım, onarım işlemlerinin kolay yapılmakta olması, tasarımlarının basit olması, diğer ürünlere istinaden uygun fiyatlarda olması ve şebekeye direkt bağlantı sağlayabilmesi tercih edilme sebeplerinde başlıca nedenlerini oluşturmaktadır (Çetin ve ark., 2016).

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmek amaçlı kullanılan elektrik motorları, Sanayi de tüketilen elektrik enerjisinin üçte ikisini oluşturmaktadır. Sektörel bazda Dünya üzerinde elektrik motor kullanım oranları Şekil 4.5. de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Elektrik motorlarının sektörlere göre enerji tüketim oranları (Ruşen, 2019)

Elektrik motorları, pompa, fan ve kompresörlerde olmak üzere birçok cihaz ve ekipmanlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrik motorları üzerinde yapılacak olan enerji verimliliği çalışmaları büyük önem arz etmektedir (Ruşen, 2019).

1988 yılında tüketici haklarını savunmak amaçlı elektrik motorlarında verimlilik çalışmaları üzerine kurulan ilk kuruluş CEMEP (Avrupa Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesi) tarafından kabul gören elektrik motorlarında, EFF3, EFF2 ve EFF1 olmak üzere sınıflandırmalar uygulanmıştır. EFF1 en yüksek, EFF3 en düşük verimlilik göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Verimlilik sınıflandırma çalışmalarına 2008 yılında IEC tarafından yayımlanan ve

2010 yılında TSE tarafından kabul edilen TS EN 60034-30 standardı ile IE1, IE2, IE3 ve IE4 verimlilik sınıflamalarında yeni tanımlamalar getirilmiştir. Bu yeni tanımlamaya göre; IE1 standart verimli, IE2 yüksek verimli, IE3 çok yüksek verimli, IE4 süper çok yüksek verimli motorlar olarak tanımlanmıştır. Verimlilik motorsınıflandırması Şekil 4.6. da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Elektrik Motorları Enerji Verimlilik Sınıfları (Karen, 2022)

01.01.2015 tarihinden itibaren Resmî Gazetede yayımlanan “Elektrik Motorları İle İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine Dair Tebliğ” ile elektrik motorları yasal düzenlemelere tabii tutulmuştur. Anma gücü 7,5 kW ile 375 kW arasında olan elektrik motorlarının IE3 verimlilik sınıfından aşağıda olmayacağı kararlaştırılmıştır (Esen, 2015).

4.4.1. Elektrik Motorları Ölçüm ve Analizleri

Elektrik motorlarının enerji tüketimlerinin belirlenmesi amacıyla elektrik besleme panoları üzerinden enerji analizörü ile aktif güç ölçümleri yapılmıştır. Aktif güç ölçümü görseli Şekil 4.7. de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Enerji analizörü ile elektrik motorlarında aktif güç ölçümü

Fabrika bünyesinde mevcut olan birçok bölümde elektrik motorları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ölçümlerde;

Motor adedi, etiket değeri, çektiği güç değeri, verimlilik yüzdesi, çalışma saati değerleri dikkate alınmıştır. Ölçümleri yapılan elektrik motorları Tablo 4.22. de belirtilmiştir.

Tablo 4.22. Elektrik motorları etüt bilgileri

Ürün	Adet	kW	Çalışma Saati	Verim	Çektiği Güç kWh	Toplam Çalışma Saati
Eski Selnikel Yakma Fanı	1	15	22	0,87	17,24	379
Teta Besi Suyu Pompası	3	7,5	22	0,87	8,62	568
Mavi Kazan Besi Suyu Pompası	1	15	12	0,87	17,24	206
Baca Fanı Motoru	1	30	12	0,90	33,33	400
Mavi Kazan Yakma Fanı	4	7,5	12	0,90	8,33	400
Subor Baca Fan Motoru	1	37	12	0,90	41,11	493
Yakma Fani Motoru	1	132	24	0,90	146,67	3.520
Baca Fanı Motoru	1	45	24	0,87	51,72	1.241
Kül Karıştırıcı Motoru	1	11	2	0,90	12,22	24
Evratör Motoru 1 Yedek 1 As	1	7,5	6	0,90	8,33	50
Besi Suyu Pompası 1 Yedek 1 As	1	37	24	0,87	42,53	1.020
Kül Herezon Motor	6	3	24	0,90	3,33	480
Kondens Suyu Konden 2. Motoru	1	15	12	0,90	16,67	200
Fan Motorları (Vakum 6)	2	7,5	12	0,87	8,62	206
Fan Motorları (Atölye)	4	11	22	0,87	12,64	1.112
Siklon Fan Motoru	1	5,5	22	0,87	6,32	139
Atomizer Motoru	1	22	22	0,90	24,44	537
Islak Baca Fan Motoru	2	45	22	0,90	50,00	2.200
Emiş Fan Motoru	1	11	14	0,90	12,22	171
Elektrik Balans Motoru	1	5,5	14	0,90	6,11	85
Emiş Fan Motoru	1	15	14	0,90	16,67	233
Emiş Fan Motoru	1	30	8	0,87	34,48	275,86
Soğutma Kulesi Motoru	1	37	8	0,90	41,11	328,89
Sülfilikasyon Motoru	4	7,5	10	0,90	8,33	333,33
Balans Tankı Motoru	1	15	8	0,90	16,67	133,33
Kondens Motoru 2	3	2,2	14	0,84	2,62	110,00
Ürün Aktarma Motoru	1	7,5	14	0,90	8,33	116,67
Emiş Fan Motoru	2	22	14	0,87	25,29	708,05

Ürün Giriş Motoru	1	15	14	0,87	17,24	241,38
Emiş Fan Motoru	1	15	22	0,90	16,67	366,67
Balans Tankı Motoru	1	11	22	0,87	12,64	278,16
Ürün Aktarma Motoru	1	5,5	22	0,90	6,11	134,44
Ürün Aktarma Motoru	1	3	22	0,90	3,33	73,33
Ürün Aktarma Motoru	1	3	22	0,87	3,45	75,86
Ürün Aktarma Motoru	1	3	22	0,90	3,33	73,33
Ürün Uçurma Fanı	1	11	24	0,90	12,22	293,33
Orta Kat Değitmen Motoru	1	18,5	20	0,87	21,26	425,29
Blower Motoru	1	11	20	0,87	12,64	252,87
Baca Fanı Motoru	1	55	16	0,90	61,11	977,78
Baca Fanı Motoru - 2	1	55	16	0,90	61,11	977,78
Radyatör Motoru	1	45	16	0,90	50,00	800,00
Atomizer Motoru F100	1	30	16	0,90	33,33	533,33
Baca Fanı Motoru	1	55	22	0,87	63,22	1.390,80
Atomizer Motoru	1	22	22	0,87	25,29	556,32
Radyatör Motoru	1	30	22	0,87	34,48	758,62
Radyatör Motoru	1	75	12	0,90	83,33	1.000,00
Temiz Hava Fanı Motoru	1	37	12	0,87	42,53	510,34
Kule Alt Fani Motoru	1	37	12	0,90	41,11	493,33
Homojenizatör	1	45	12	0,87	51,72	620,69
Baca Fani Motoru	1	90	12	0,90	100,00	1.200,00
Fan Hava Motoru	1	45	12	0,90	50,00	600,00
Fan Hava Motoru	1	15	12	0,90	16,67	200,00
Özen Fan Motoru	1	5,5	8	0,90	6,11	48,89
Dalgakıran	1	132,00	8	0,87	151,72	1.213,79
Değirmen Motor	1	18,50	8	0,87	21,26	170,11
Jet Filtre Blower Motor	1	15,00	8	0,90	16,67	133,33
2. Dekantör Motor	1	11,00	8	0,87	12,64	101,15
Baca Fani Motoru	1	30,00	8	0,87	34,48	275,86
1. Dekantör Motor	1	37,00	8	0,90	41,11	328,89

Elektrik motor verimlilikleri hesaplamaları yapılmıştır.

Anlık Motor Çekiş Gücü Hesabı, Formül 4.16 ile hesaplanır;

$$P_{\text{motor anlık}} = \frac{P_{\text{motor}}}{\mu_{\text{motor}}} * 100 \quad (4.16)$$

Motor Gücü Hesabı, Formül 4.17 ile hesaplanır;

$$P_{\text{motor}} = \text{Amper} \times \text{Volt} \times 1,73 \times \text{Yük Faktörü} \quad (4.17)$$

Günlük Tüketim, Formül 4.18 ile hesaplanır;

$$\text{Günlük Tüketim} = \text{Anlık Motor Çekiş Gücü} \times \text{Çalışma Saati} \quad (4.18)$$

Yıllık Tüketim, Formül 4.19 ile hesaplanır;

$$\text{Yıllık Tüketim} = \text{Günlük Tüketim} \times \text{Yıllık Çalışma Süresi} \quad (4.19)$$

Hesaplamaları ile her bir elektrik motoru ve toplam tasarruf miktarı hesaplanmıştır. Motor gücü tespitini sağladığımız elektrik motorları için değişim ile kazanılacak tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.23. de gösterilmiştir.

Tablo 4.23. Elektrik Motorları Tasarruf Miktarları

Ürün	Adet	kW	Toplam Çalışma Saati	Standart	Verim	Çekeceği Güç kWh	Tasarruf kWh
Eski Selnikel Yakma Fanı	1	15	379	IE3 - IE4	0,93	354,84	24,47
Teta Besi Suyu Pompası	3	7,5	568	IE3 - IE4	0,93	532,26	36,71
Mavi Kazan Besi Suyu Pompası	1	15	206	IE3 - IE4	0,93	193,55	13,35
Baca Fanı Motoru	1	30	400	IE3 - IE4	0,93	387,10	12,90
Mavi Kazan Yakma Fanı	4	7,5	400	IE3 - IE4	0,93	387,10	12,90
Subor Baca Fan Motoru	1	37	493	IE3 - IE4	0,93	477,42	15,91
Yakma Fani Motoru	1	132	3.520	IE3 - IE4	0,93	3.406,45	113,55
Baca Fanı Motoru	1	45	1.241	IE3 - IE4	0,93	1.161,29	80,09
Kül Karıştırıcı Motoru	1	11	24	IE3 - IE4	0,93	23,66	0,79
Evratör Motoru 1 Yedek 1 As	1	7,5	50	IE3 - IE4	0,93	48,39	1,61
Besi Suyu Pompası 1 Yedek 1 As	1	37	1.020	IE3 - IE4	0,93	954,84	65,85
Kül Herezon Motor	6	3	480	IE3 - IE4	0,93	464,52	15,48
Kondens Suyu Konden 2. Motoru	1	15	200	IE3 - IE4	0,93	193,55	6,45
Fan Motorları (Vakum 6)	2	7,5	206	IE3 - IE4	0,93	193,55	13,35
Fan Motorları (Atölye)	4	11	1.112	IE3 - IE4	0,93	1.040,86	71,78
Siklon Fan Motoru	1	5,5	139	IE3 - IE4	0,93	130,11	8,97
Atomizer Motoru	1	22	537	IE3 - IE4	0,93	520,43	17,35
Islak Baca Fan Motoru	2	45	2.200	IE3 - IE4	0,93	2.129,03	70,97
Emiş Fan Motoru	1	11	171	IE3 - IE4	0,93	165,59	5,52
Elektrik Balans Motoru	1	5,5	85	IE3 - IE4	0,93	82,80	2,76
Emiş Fan Motoru	1	15	233	IE3 - IE4	0,93	225,81	7,53
Emiş Fan Motoru	1	30	275,86	IE3 - IE4	0,93	258,06	17,80
Soğutma Kulesi Motoru	1	37	328,89	IE3 - IE4	0,93	318,28	10,61

Sülfilikasyon Motoru	4	7,5	333,33	IE3 - IE4	0,93	322,58	10,75
Balans Tankı Motoru	1	15	133,33	IE3 - IE4	0,93	129,03	4,30
Kondens Motoru 2	3	2,2	110,00	IE3 - IE4	0,93	99,35	10,65
Ürün Aktarma Motoru	1	7,5	116,67	IE3 - IE4	0,93	112,90	3,76
Emiş Fan Motoru	2	22	708,05	IE3 - IE4	0,93	662,37	45,68
Ürün Giriş Motoru	1	15	241,38	IE3 - IE4	0,93	225,81	15,57
Emiş Fan Motoru	1	15	366,67	IE3 - IE4	0,93	354,84	11,83
Balans Tankı Motoru	1	11	278,16	IE3 - IE4	0,93	260,22	17,95
Ürün Aktarma Motoru	1	5,5	134,44	IE3 - IE4	0,93	130,11	4,34
Ürün Aktarma Motoru	1	3	73,33	IE3 - IE4	0,93	70,97	2,37
Ürün Aktarma Motoru	1	3	75,86	IE3 - IE4	0,93	70,97	4,89
Ürün Aktarma Motoru	1	3	73,33	IE3 - IE4	0,93	70,97	2,37
Ürün Uçurma Fanı	1	11	293,33	IE3 - IE4	0,93	283,87	9,46
Orta Kat Değiştirme Motoru	1	18,5	425,29	IE3 - IE4	0,93	397,85	27,44
Blower Motoru	1	11	252,87	IE3 - IE4	0,93	236,56	16,31
Baca Fanı Motoru	1	55	977,78	IE3 - IE4	0,93	946,24	31,54
Baca Fanı Motoru - 2	1	55	977,78	IE3 - IE4	0,93	946,24	31,54
Radyatör Motoru	1	45	800,00	IE3 - IE4	0,93	774,19	25,81
Atomizer Motoru F100	1	30	533,33	IE3 - IE4	0,93	516,13	17,20
Baca Fanı Motoru	1	55	1.390,80	IE3 - IE4	0,93	1.301,08	89,73
Atomizer Motoru	1	22	556,32	IE3 - IE4	0,93	520,43	35,89
Radyatör Motoru	1	30	758,62	IE3 - IE4	0,93	709,68	48,94
Radyatör Motoru	1	75	1.000,00	IE3 - IE4	0,93	967,74	32,26
Temiz Hava Fanı Motoru	1	37	510,34	IE3 - IE4	0,93	477,42	32,93
Kule Alt Fani Motoru	1	37	493,33	IE3 - IE4	0,93	477,42	15,91
Homojenizatör	1	45	620,69	IE3 - IE4	0,93	580,65	40,04
Baca Fani Motoru	1	90	1.200,00	IE3 - IE4	0,93	1.161,29	38,71
Fan Hava Motoru	1	45	600,00	IE3 - IE4	0,93	580,65	19,35
Fan Hava Motoru	1	15	200,00	IE3 - IE4	0,93	193,55	6,45
Özen Fan Motoru	1	5,5	48,89	IE3 - IE4	0,93	47,31	1,58
Dalgakıran	1	132,0	1.213,79	IE3 - IE4	0,93	1.135,48	78,31
Değirmen Motor	1	18,50	170,11	IE3 - IE4	0,93	159,14	10,98
Jet Filtre Blower Motor	1	15,00	133,33	IE3 - IE4	0,93	129,03	4,30
2. Dekantör Motor	1	11,00	101,15	IE3 - IE4	0,93	94,62	6,53
Baca Fani Motoru	1	30,00	275,86	IE3 - IE4	0,93	258,06	17,80
1. Dekantör Motor	1	37,00	328,89	IE3 - IE4	0,93	318,28	10,61

4.4.2. Tasarruf Önerileri

Mevcut sistemdeki elektrik motorlarını daha üst standartlardaki yüksek verimli elektrik motorları ile değişimleri öngörülmüştür.

4.5. Pompalar

Sıvıların istenilen bir noktaya transfer edilmesini sağlayan sisteme veya ekipmanlara pompa denir. Pompalar sıvıyı transfer etmek için gerekli olan potansiyel ve kinetik enerjiyi sağlarlar. Pompalar, elektrik motorundan hareket alarak çalıştıkları gibi, dizel motor, basınçlı buhar, basınçlı hava ve basınçlı yağ yardımı ile tahrik elemanı olarak da çalışabilirler.

Pompalar dinamik ve pozitif deplasmanlı olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Dinamik pompalar hacimsel sıkıştırma işleminde bulunmaz, sürekli akış üretimi sağlarlar. Bu tür pompalarda akışkana karşı iç direnç oluşmaz ve çıkış kesitinin değişmesi ile basınç değişimi önem kazanır.

Pozitif deplasmanlı pompalar ise, hacimsel verimi dikkate alır (Sarıgül, 2010).

Enerji verimliliği çalışmalarında pompaların üzerine yapılan araştırmalar dikkat çekmektedir.

Amerika da Hidrolik Enstitüsü tarafından yapılan bir araştırmaya göre tüketilen enerjinin %20'sini pompaların oluşturduğu ön görülmektedir. Pompaların enerji tüketimindeki payının bu seviyelerde olmasından dolayı pompa seçimleri bir hayli önem kazanmaktadır.

Pompaların seçiminde önümüze gelen ilk koşul pompaların ömür boyu maliyet sarf ettiği olmasıdır (Korkmaz, 2017).

Ömür boyu maliyeti, satın alma, enerji, montaj, bakım-onarım gibi kalemler oluşturmaktadır. En büyük pay ise enerji maliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır. Pompalarda ömür boyu maliyet dağılımı Şekil 4.8. de gösterilmiştir.

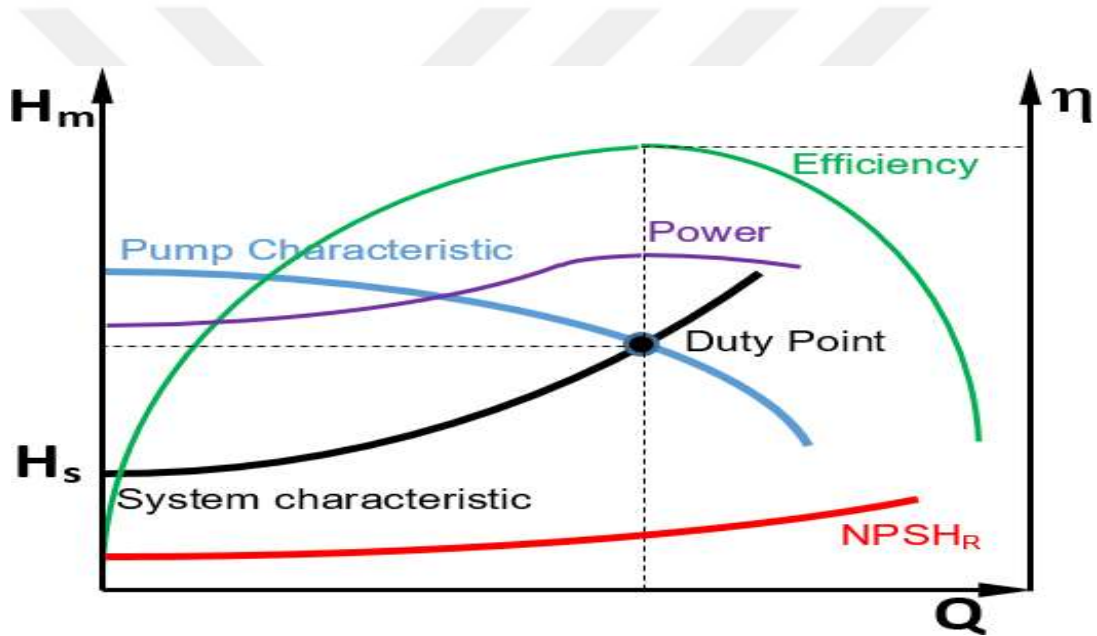


Şekil 4.8. Pompa Ömür Boyu Maliyet (Sarıgül, 2010)

Şekilde de gösterildiği gibi toplam maliyetin %10'luk kısmını bakım-onarım, %5'lik kısmını satın alma ve %85'lik kısmını enerji maliyeti oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı proses için uygun pompa kullanımı çok önemlidir.

Pompa seçiminde birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin başında basma yüksekliği (H_m) ve debi (Q) gelmektedir. Seçeceğimiz pompanın uygun olup olmadığını, verimlilik hesaplamalarını ve kavitasyon oluşumuna sebebiyet gösterip göstermeyeceğini pompa karakteristik eğrilerinden tespit edebiliriz. Pompa seçiminde; ihtiyaç duyulan debi, basma yüksekliği, akışkan özellikleri, bakım-onarım kolaylığı, maliyet, çalışma şartları, hat mesafesi ve çevre sıcaklığı faktörleri dikkate alınmaktadır (Korkmaz, 2017).

Pompa seçiminde en önemli husus pompanın nominal çalışma aralığında en verimli pompayı seçmektir. Pompa karakteristik eğri örneği Şekil 4.9. da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Pompa Karakteristik Eğrisi ve Çalışma Noktası (Korkmaz, 2017)

Pompa değişim projelerinde temel olarak genel verimlilik hesaplamaları yapılarak değiştirilecek pompa alternatifleri kıyaslanabilir. Pompa shaftına aktarılan efektif güç birçok kayıplar neticesinde azalır ve pompa çıkışında mevcut olan hacimsel debi akışkana hidrolik güç niteliğinde aktarılmış olur. Mekanik güç ile hidrolik güç arasındaki oran pompanın genel verimini ifade eder. Pompalarda mekanik güç ile hidrolik güç arasındaki genel verim aşağıdaki Formül 4.20 ile hesaplanır.

$$\eta_g = \frac{P_d}{P_e} * \frac{P_s}{P_h} * \frac{P_h}{P_e} = \eta_v * \eta_h * \eta_m \quad (4.20)$$

P_d = Pompa şaft gücü, kW

P_e = Pompa şaft gücü, kW

P_h = Pompa şaft gücü, kW

P_h = Pompa şaft gücü, kW

η_g = Pompa verimi

η_v = Pompa verimi

η_h = Pompa verimi

η_m = Pompa verimi

Pompa gücü aşağıdaki Formül 4.21 ile hesaplanır.

$$P = \frac{\rho * g * Q * H}{1000 * \eta} \quad (4.21)$$

P = Pompa şaft gücü, kW (Efektif güç)

ρ = Akışkanın yoğunluğu, kg/m³

g = Yerçekimi ivmesi, 9,81 m/s²

Q = Debi, m³/s

H = Toplam diferansiyel yükseklik, m

η = Pompa verimi (Sarıgül, 2010).

Pompalarda etiket değerleri üzerinde debi ile çalışma ihtimalleri göz önünde bulundurularak motor gücü, pompa şaft gücünden bir miktar yüksek seçilmesi gerekir. Bu seçimde motor gücü aşağıdaki Formül 4.22 ile hesaplanır

$$PM = P * \alpha \quad (4.22)$$

PM = Motor gücü

P = Pompa şaft gücü, kW (Efektif güç)

α = Katsayı

Farklı değerler üzerinde pompa şaft gücü için kullanılacak katsayılar Tablo 4.24. de belirtilmiştir (Sarıgül, 2010).

Tablo 4.24. Motor gücü için seçilecek katsayı (Sarigül, 2010)

P (kW)	Katsayı (α)
< 1,5	1,50 - 1,40
1,5 - 4	1,40 - 1,25
4 - 35	1,25 - 1,15
> 35	1,15 - 1,10

4.5.1. Pompa Ölçüm ve Analizleri

Reverse ozmoz besleme pompası, kuyu suyunun depolandığı tanktan suyu alıp RO ünitesinde bulunan kum filtrelelere transfer etmektedir. RO pompası Şekil 4.10. da gösterilmiştir.

**Şekil 4.10.** RO Besleme Pompası

UF (ultra filtrasyon) bölümlerinden peyniraltı suyu içerisindeki protein membranlar yardımıyla ayrıştırılmaktadır. NF (nanofiltrasyon) bölümünde ise UF'den gelen suyun içerisindeki tuz membranlar yardımıyla ayrıştırılmaktadır. UF bölümü pompaları, peynir altı suyunu membranlara transfer etmektedir. NF bölümü pompaları, UF bölümünden gelen suyu membranlara transfer etmektedir. 800 tonluk kule pompası, su tankından aldığı suyu, kule 1 ve kule 2'ye ait kulehavuzlarının nozullarına transfer etmektedir. 800 tonluk kule pompası Şekil 4.11. de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. 800 tonluk kule pompası

Vakum altı bölümünde kullanılan soğutma suyu, soğutma kulesi sonrası pompaya transfer edilmektedir. Vakum altı soğutma kulesi pompası, soğuma kulesinden gelmekte olan suyu, vakum bölümüne transfer etmektedir. Vakum bölümünde kullanılan su, tekrar soğutma kulesine transfer edilmektedir. Vakum bölüm pompası Şekil 4.12. de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Vakum altı soğutma kulesi pompası

Pompaların sistem verimlerinin belirlenebilmesi ve pompalarda yapılabilecek iyileştirmelerin değerlendirilebilmesi için debi, basınç, akışkan sıcaklığı ve aktif güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Eş zamanlı olarak pompanın enerji panosundan

enerji analizörü ile aktif güç ölçümü yapılmıştır. Pompanın emme ve basma basınçları hat üzerindeki manometrelerden alınmıştır. Akışkan sıcaklığı daldırma batırma sıcaklık probu ile ölçülmüştür. UF-2 bölümü LOB-1, 2, 3, 4 pompaları ve UF-1 bölümü LOB-1, 2, 3 ve 4 pompalarına ait debi, emme basıncı ve akışkan sıcaklığı, UF-3 bölümü LOB-1, 2, 3, 4 pompalarına ait debiler, NF-1 bölümü LOB 1, 2, pompaları, yüksek basınç pompası-1 ve 2, ünite giriş pompalarına ait debiler uygun ölçüm noktası bulunmadığından ölçülememiştir. Pompalarda yapılan debi ölçümleri Şekil 4.13. de, aktif güç ölçümleri Şekil 4.14 de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Pompalarda ultrasonik sıvı debimetresi ile debi ölçümü



Şekil 4.14. Pompalarda enerji analizörü ile aktif güç ölçümü

Ölçümleri yapılan pompalardan alınan ölçüm değerleri Tablo 4.25’de verilmiştir. Pompalardan alınan ölçüm sonuçlarına göre pompaların akışkan gücü ve sistem (pompa + aktarma elemanı + elektrik motoru) verimleri belirlenmiştir. Belirtilen pompalar için verimlilik analizi Tablo 4.26. da verilmiştir.

Tablo 4.25. Pompalardan alınan bilgi ve ölçümler

Bölüm	Pompa Adı	Kontrol Yöntemi	Frekans	Devir	Etiket Gücü	Debi		Emme Basıncı	Basma Basıncı	Akışkan Sıcaklığı	Aktif Güç	Yıllık Çalışma Saati
			Hz	rpm	Kw	m ³ /h	m ³ /s	bar	bar	°C	kW	saat
UF-2	LOB-1 Pompası	Y/Δ	-	-	22	-	-	-	7,5	-	27,20	6,5
	LOB-2 Pompası	Y/Δ	-	-	30	-	-	-	7,5	-	19,41	6,5
	LOB-3 Pompası	Y/Δ	-	-	-	-	-	-	9,8	-	19,37	6,5
	LOB-4 Pompası	Y/Δ	-	-	-	-	-	-	9,7	-	17,58	6,5
UF-1	LOB-1 Pompası	VSD	-	2.271	55	-	-	-	4,8	9,1	18,30	6,5
	LOB-2 Pompası	VSD	41,8	-	-	-	-	-	5,9	20,6	25,10	6,5
	LOB-3 Pompası	VSD	-	2.820	-	-	-	-	5,3	24,7	41,80	6,5
	LOB-4 Pompası	VSD	-	2.700	37	-	-	-	6,0	27,5	34,20	6,5
UF-3	LOB-1 Pompası	VSD	40	-	-	-	-	2,70	5,4	20,9	11,74	6,5
	LOB-2 Pompası	VSD	46,8	-	-	-	-	2,50	6,2	22,9	9,25	6,5
	LOB-3 Pompası	VSD	46,3	-	-	-	-	2,60	6,4	26	8,30	6,5
NF-2	Yüksek Basınç Pompası-1	VSD	50	-	22	-	-	-	-	-	28,60	6,5
	Yüksek Basınç Pompası-2	VSD	50	-	22	25,4	0,0071	0,10	25,4	23,6	16,79	6,5
NF-1	LOB-1 Pompası	Direkt	-	-	18,5	-	-	27,50	32,0	27	15,04	6,5
	LOB-2 Pompası	Direkt	-	-	18,5	-	-	27,50	32,0	27	13,28	6,5
	Yüksek Basınç Pompası-1	Direkt	-	-	22	-	-	-	-	-	19,80	6,5
	Yüksek Basınç Pompası-2	VSD	40	-	22	-	-	-	-	-	10,36	6,5
	Ünite Giriş Pompası	Direkt	-	-	18,5	-	-	0,10	27,5	24,8	12,60	6,5
RO	Reverse Osmoz Besleme Pompası	Y/Δ	-	-	22	49,2	0,0137	0,30	5,0	14	15,09	6,5

RO	Ozmoz-2 Yüksek Basınç Pompası	VSD	44	-	37	46,0	0,0128	2,5	12	14	21,40	6,5
800 Tonluk Kule	Kule Pompası	Y/Δ	-	-	22	153,0	0,0425	0,2	0,8	17	13,90	8,7
Vakum Altı Bölümü	Soğutma Kulesi Pompası	Y/Δ	-	-	30	296,2	0,0823	0,4	2,4	16	30,23	8,7

Tablo 4.26. Pompaların akışkan gücü ve sistem verimi

Bölüm	Pompa Adı	Debi		Fark Basıncı bar	Basma Yüksekliği m	Akışkan Gücü kW	Aktif Güç kW	Sistem Verimi %
		m ³ /h	m ³ /s					
NF-2	Yüksek Basınç Pompası-1						28,60	
	Yüksek Basınç Pompası-2	25,40	0,0071	25,3	258,37	17,96	16,79	39,57
RO	Reverse Osmoz Besleme Pompası	49,20	0,0137	4,7	47,95	6,44	15,09	42,68
	Ozmoz-2 Yüksek Basınç Pompası	46,00	0,0128	9,5	96,9	12,16	21,4	56,82
800 Tonluk Kule	Kule Pompası	153,00	0,0425	0,6	6,13	2,55	13,9	18,35
Vakum Altı Bölümü	Soğutma Kulesi Pompası	296,20	0,0823	2,0	20,41	16,46	30,23	54,45

İncelenen pompanın sistem verimi hakkında yorumlama yapabilmek adına aynı debi ve basma yüksekliğinde çalışabilecek pompalar araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda RO bölümü ozmoz-2 yüksek basınç pompasının sistem veriminin (%56,82), vakum altı bölümü soğutma kulesi pompasının (%54,45) sistem veriminin iyi/ideal seviyelerde olduğu, NF-2 bölümü yüksek basınç pompası-1 ve 2'nin ortak sistem verimlerinin (%39,57), RO bölümü reverse ozmoz besleme pompasının sistem veriminin (%42,68) ve 800 tonluk kule bölümü kule pompasının sistem veriminin (%18,35) iyi/ideal seviyelerden düşük olduğu tespit edilmiştir.

UF-2 bölümü LOB 1, 2, 3, 4 pompaları ve UF-1 bölümü LOB 1, 2, 3 ve 4 pompalarına ait debi, emme basıncı ve akışkan sıcaklığı, UF-3 bölümü LOB 1, 2, 3,4 pompalarına ait debiler, NF-1 bölümü LOB 1, 2 pompaları, yüksek basınç pompası 1 ve 2, ünite giriş pompalarına ait debiler uygun ölçüm noktası bulunmaması nedeniyle ölçümlemediğinden UF-2 bölümü LOB 1,2,3,4 pompalarının, UF-1 bölümü 1, 2, 3, 4 pompalarının, NF-1 bölümü LOB 1, 2 pompalarının, yüksek basınç pompası 1 ve yüksek basınç pompası 2'nin, ünite giriş pompasının sistem verimleri tespit edilememiştir.

Sistem verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalar ile değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir. Araştırmalar sonucunda NF-2 bölümü yüksek basınç pompası-1 ve 2'nin, RO bölümü reverse ozmoz besleme pompasının ve 800 tonluk kule bölümü kule pompasının daha verimli pompalar ile değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabilir. NF-2 bölümü yüksek basınç pompası-1 ve 2'nin, RO bölümü reverse ozmoz besleme pompasınınve 800 tonluk kule bölümü kule pompasının daha verimli pompalar ile değiştirilmesiyle öngörülen yıllık enerji tasarrufu potansiyeli hesabı Tablo 4.27. de verilmiştir.

Tablo 4.27. Sistem verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalar ile değişimiyle sağlanabilecek enerji tasarrufu potansiyeli hesabı

Bölüm	Pompa Adı	Mevcut Durum				Uygulama Sonrası			Tasarruf	
		Debi	Basma Yüksekliği	Akışkan Gücü	AktifGüç	Sistem Verimi	Sistem Verimi	BirimEnerji Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarruf Potansiyeli
		m ³ /h	m	kW	kW	%	%	kW	kW	kWh/Yıl
NF-2	Yüksek basınç pompası-1				28,60					
	Yüksek basınç pompası-2	25,40	258,37	17,96	16,79	39,57	57,87	31,04	14,35	94.279,50
RO	Reverse osmoz besleme pompası	49,20	47,95	6,44	15,09	42,68	62,10	10,37	4,72	31.010,40
800 Tonluk Kule	Kule Pompası	153,00	6,13	2,55	13,90	18,35	64,98	3,93	9,97	87.337,20

4.5.2. Tasarruf önerileri

UF-2 bölümü LOB 1, 2, 3, 4 pompaları ve UF-1 bölümü LOB 1, 2, 3 ve 4 pompalarına ait debi, emme basıncı ve akışkan sıcaklığı, UF-3 bölümü LOB 1, 2, 3, 4 pompalarına ait debiler, NF-1 bölümü LOB 1,2 pompaları, yüksek basınç pompası 1 ve 2, ünite giriş pompalarına ait debiler uygun ölçüm noktası bulunmaması nedeniyle ölçümlenmediğinden UF-2 bölümü LOB 1,2,3,4 pompalarının, UF-1 bölümü 1,2, 3, 4 pompalarının, NF-1 bölümü LOB 1, 2 pompalarının, yüksek basınç pompası 1 ve yüksek basınç pompası 2'nin, ünite giriş pompasının sistem verimleri tespit edilememiştir.

Sistem verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalar ile değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir. Araştırmalar sonucunda NF-2 bölümü yüksek basınç pompası-1 ve 2'nin, RO bölümü reverse ozmoz besleme pompasının ve 800 tonluk kule bölümü kule pompasının daha verimli pompalar ile değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabilir.

4.6. Soğutma

Bir maddeden ısıнын soğurulması işlemine soğutma denir. Bir madde veya ortamın soğutulması için ısıнын alınıp başka bir madde veya ortama verilmesi gerekir.

Soğutma işlemi sırasında aşağıda belirtilen olgulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Soğutulacak madde, ortam veya proseslerin fiziksel özelliklerine dikkat edilmelidir. Sistemin sürdürülebilirliği için kontrol sistemi sağlanmalıdır.

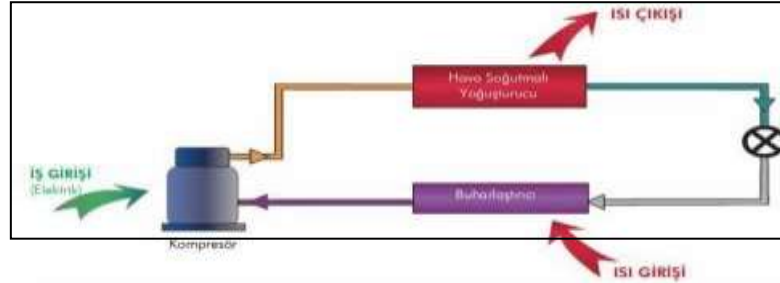
Çevre ve doğayı olumsuz etkilememelidir.

Uygun sıcaklığı ve şartları muhafaza edebilecek sistemler tasarlanmalıdır.

Endüstride birçok farkı soğutma sistemi uygulaması ile karşılaşmak mümkündür. En yaygın kullanımda olan soğutma sistemleri buhar sıkıştırmalı mekanik çevrimler olduğu gözlemlenmektedir.

Absorbsiyonlu soğutma ve su soğutmalı (chiller) sistemlerde her geçen gün kullanım sayısı artmaktadır. İklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliği çalışmalarında EER ve COP değerleri, yapılan çalışmaların fizibilitesi ve sistem verimliliği analizi için çok önemlidir. EER, enerji verimlilik oranını ifade eder. Soğutma sistemlerinde evaporatör de elde edilen enerjinin, cihazın tükettiği toplam enerji oranı EER değerini hesaplamamızı sağlamaktadır. COP ise sistemde sağlanan faydalı enerjinin, sistemde tüketilen toplam enerjiye oranının verdiği değeri ifade etmektedir. COP değerinin yüksek olması, daha az enerji ile daha çok soğutma veya faydalı enerji yapılabilirdiğinin göstergesidir (Onat ve İsa, 2017).

Endüstriyel tesislerde ciddi tüketim oranına sahip soğutma sistemleri içerisinde enerji verimliliği çalışmalarının önemi artmaktadır. Son zamanlarda hava soğutmalı chiller ve su soğutmalı chillerler dikkat çekmektedir. Chiller çalışma prensibi Şekil 4.15. de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Chiller çalışma prensibi (Onat ve İsa, 2017)

Hava soğutmalı chillerler, chiller içerisindeki soğutucu gazın, evaporatör ve kompresörden kazandığı enerjinin hava soğutmalı bataryalar üzerinde atılması şeklinde çalışan sistemlerdir. Hava soğutmalı chiller cihazlarının kurulacağı alanlar sürekli taze hava akışına açık olmalı ve çoklu cihaz kurulumu durumlarında cihazlar arası mesafenin, üretici firma değerlerine bağlı kalarak hesaplanması gerekmektedir. Hava soğutmalı chiller cihazları, genellikle su tüketiminin minimize edilmesi gereken yerlerde kullanılmaktadır (Onat ve İsa, 2017).

Su soğutmalı chiller cihazları, hava soğutmalı chiller cihazından farklı olarak kondenser devresindeki sıcak gazı su ile soğutan ünitelerdir. Bu cihazlarda, kondenser içerisinde dolaştırılacak olan soğutma suyunun temini için sürekli su kaynağı bulunması şarttır. Su soğutmalı chiller cihazları genellikle, cihaz konulacak alanın kısıtlılığı, enerji maliyetlerinin önemli ama su maliyetlerinin düşük olduğu yerler için kullanılır. Cihaz, iç ortamda çalışabilme özelliğine sahip olduğundan, soğutulacak bölgeye en yakın konumlandırma istenilen durumlarda da genellikle en ideal çözümlerin başında gelir (Onat ve İsa, 2017).

4.6.1. Soğutma Ölçüm ve Analizler

Tereyağ chiller, tereyağ ünitesinde bulunan plakalı eşanjörlerdeki suyun soğutulmasını sağlamaktadır. Soğutma suyu içerisinde %50 oranında glikol bulunmaktadır.

Havuz soğutma grubu chilleri, vakum sistemi eşanjörlerinde soğutma amacıyla kullanılan ve havuzda biriken suyu 7 °C sıcaklığında tutmaktadır.

İşletmede bulunan chillerin soğutma performans katsayısının (COP) belirlenebilmesi için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, chillerin evaporatör hatlarına ultrasonik sıvı debimetresi bağlanarak debi ölçümü, chillerin besleme panosuna enerji analizörü bağlanarak aktif güç ölçümü gerçekleştirilmiştir. Evaporatör giriş-çıkış sıcaklıkları ise daldırma batırma sıcaklık probu ile ölçülmüştür. Bağıl nem, bağıl nem probu ile ölçülmüştür. Chillerin kompresör sayısı, soğutma kapasitesi ve fan sayısı bilgileri işletmeden temin edilmiştir. Havuz soğutma grubu bölümü yeni chiller ve kazein chillere ait uygun ölçüm noktası bulunmaması nedeniyle evaporatör debileri ölçülememiştir. Yeni chillere ait evaporatör giriş sıcaklığı chillere ait ekrandan alınmıştır. Envanter bilgileri Tablo 4.28. de gösterilmiştir.

Tablo 4.28. Chillerin kompresör sayısı, soğutma kapasitesi ve fan sayısı bilgileri

Bölüm	Chiller Adı	Marka	Soğutma Kapasitesi Kompresör Sayısı		Fan Sayısı
			kW	Adet	Adet
	Eski Chiller	Teba	259,00	2	4
Havuz Soğutma Grubu	Yeni Chiller	Thermocold	358,60	4	-
	KazeinChiller	Thermocold	158,60	2	-

COP değeri yani soğutma ekipmanlarının performans katsayısı bir soğutma ekipmanının bir birim enerji harcayarak, kaç birim soğutma ürettiğini gösteren bir değer olarak tanımlanabilir. Yapılan ölçümler ve alınan bilgiler sonucunda chillerlerin soğutma yükü ve COP değeri belirlenmiştir. Chillerlerden alınan bilgi ve ölçümler Tablo 4.29. da ve COP değerleri Tablo 4.30. da verilmiştir.

Tablo 4.29. Chillerlerden alınan bilgi ve ölçümler

Bölüm	Chiller Adı	Chiller Tipi	Marka	Kontrol Yöntemi	Evaporatör	Giriş	Çıkış Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	Aktif Güç	Yıllık
					Debisi	Sıcaklığı				Çalışma Saati
					m ³ /h	°C	°C	°C	kW	h/yıl
Tereyağ İşletmesi	Tereyağ Chiller	Hava Soğutmalı	-	Direkt	23,20	7,30	5,10	11,00	25,90	8,400
Havuz Soğutma Grubu	Eski Chiller	Hava Soğutmalı	Teba	Direkt	19,50	7,50	4,20	11,50	26,15	8,400
	Yeni Chiller	Hava Soğutmalı	Thermocold	Direkt	-	7,90	6,70	9,00	37,38	8,400
	Kazein Chiller	Hava Soğutmalı	Thermocold	Direkt	-	7,00	5,00	9,00	27,42	-

Tablo 4.30. Chillerlerin soğutma yükü ve COP değerinin belirlenmesi

Bölüm	Chiller Adı	Debi	Evaporatör Giriş	Evaporatör Çıkış	Sıcaklık Farkı	Soğutma Yükü	Aktif Güç	COP
		m ³ /h	Sıcaklığı	Sıcaklığı				
		m ³ /h	°C	°C	°C	kW	kW	
Tereyağ İşletmesi	Tereyağ Chiller	23,20	7,30	5,10	2,20	59,68	25,90	2,30
Havuz Soğutma Grubu	Eski Chiller	19,50	7,50	4,20	3,30	75,24	26,15	2,88

Soğutma ekipmanlarının yükteki minimum beklenen COP değerleri;

- Pistonlu kompresörlü hava soğutmalı gruplarda COP; 2,70
- Pistonlu kompresörlü su soğutmalı gruplarda COP; 4,00
- Vidalı kompresörlü hava soğutmalı gruplarda COP; 2,80
- Vidalı kompresörlü su soğutmalı gruplarda COP; 5,50
- Santrifüj kompresörlü su soğutmalı gruplarda COP; 6,00 olmalıdır.

Beklenen minimum COP değerleri için çalışma şartları; Su soğutmalı chiller için;

- Kondenser eşanjörü su giriş sıcaklık değerinin 25 °C’de olduğu durum için,
- Evaporatör eşanjörü için ise maksimum su çıkış sıcaklığının 10 °C olduğu durum

için belirlenmiştir. Hava soğutmalı chiller için;

- Atmosfer sıcaklığının 25 °C ‘de olduğu durum için,
- Evaporatör eşanjörü için ise maksimum su çıkış sıcaklığının 10 °C olduğu durum

için belirlenmiştir.

Vidalı kompresörlü hava soğutmalı chillerlerde COP değerinin 2,80 ve üzeri olması beklenmektedir. Havasoğutmalı tereyağ chillerinin COP değerinin iyi/ideal seviyelerin bir miktar altında olduğu, havuz soğutma grubu eski chillerin COP değerinin iyi/ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Detaylı enerji etüt çalışması esnasında chillerlerin kondenser tarafı radyatör yüzeylerinin kirli olduğu tespit edilmiştir. Kondenser tarafı radyatör yüzeylerinin kirliliğinden dolayı ısı transferi miktarı azalabilir. Dolayısıyla suyun yeterince soğumamasından, sistemde devir daim, miktarı fazla olmakta ve böylelikle sikülasyon pompasının çalışma yükü artmaktadır. Radyatör yüzey temizliği yapılarak ısı transfer miktarının artırılması sağlanabilir. Böylelikle enerji tüketiminden tasarruf elde edilebilmektedir (TTMD, 2005).

4.6.2. Tasarruf önerileri

COP değeri yani soğutma ekipmanlarının performans katsayısı bir soğutma ekipmanının bir birim enerjiharçayarak, kaç birim soğutma ürettiğini gösteren bir değer olarak tanımlanabilir. Yapılan ölçümler ve alınan bilgiler sonucunda chillerlerin soğutma yükü ve COP değeri belirlenmiştir.

Vidalı kompresörlü hava soğutmalı chillerlerde COP değerinin 2,80 ve üzeri olması beklenmektedir. Havasoğutmalı tereyağı chillerinin COP değerinin iyi/ideal seviyelerin bir miktar altında olduğu, havuz soğutma grubu eski chillerin COP değerinin iyi/ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Detaylı enerji etüt çalışması esnasında chillerlerin kondenser tarafı radyatör yüzeylerinin kirli olduğu tespit edilmiştir. Kondenser tarafı radyatör yüzeylerinin kirliliğinden dolayı ısı transferi miktarı azalabilir Dolayısıyla suyun yeterince soğumamasından, sistemde devridaim, miktarı fazla olmakta ve böylelikle sirkülasyon pompasının çalışma yükü artmaktadır. Radyatör yüzey temizliği yapılarak ısı transfer miktarının artırılması sağlanabilir. Böylelikle enerji tüketiminden tasarruf elde edilebilmektedir. Chiller soğutma sistemini verimli kullanmak için bakımın önemi göz ardı edilmemelidir. Periyodik bakımları yapılmayan chillerlerin performansı düşebilmektedir. Kompresör yağ seviyesi ve yağ filtresi kontrol edilmeli ve yağ değiştirme sıklığı ile ilgili üreticinin yönergelerinin izlenmesi önerilmektedir.

4.7. Fan Sistemleri

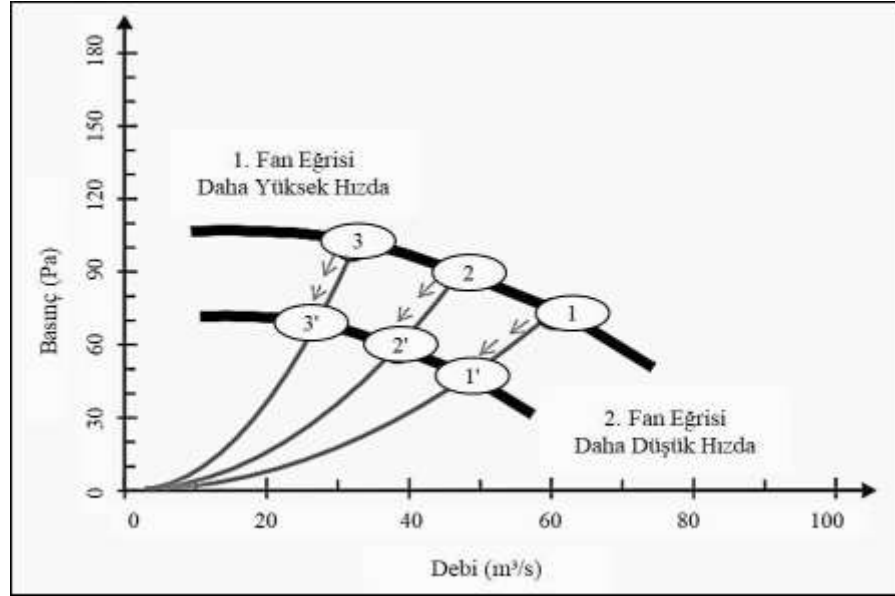
Fanlar hava ve benzeri akışkanlarının transferini basınç farkı oluşturarak sağlayan ekipmanlardır.

Basınç, bir akışın birim alana uyguladığı dik kuvvete denir. Statik basınç, fan sistemi içerisinde hat ve kanalın her noktasına uyguladığı basınçtır. Hat boyunca akışkanın hareketi boyunca engellere uyguladığı ve akışkan hızı ile sahip olduğu basınca Dinamik basınç denir (Turna, 2020).

Endüstriyel elektrik yükünün %70'ini motor sistemleri oluşturmaktadır. Bu yükte fanların önemli bir payı bulunmaktadır. Fanların sistem verimi %79 veya daha yüksek olabilse de sıklıkla %50'nin altına düşebilmektedir. Bu yüzden fan sistemlerinin değerlendirilmesi ve optimizasyonu büyük tasarruf fırsatları sunar.

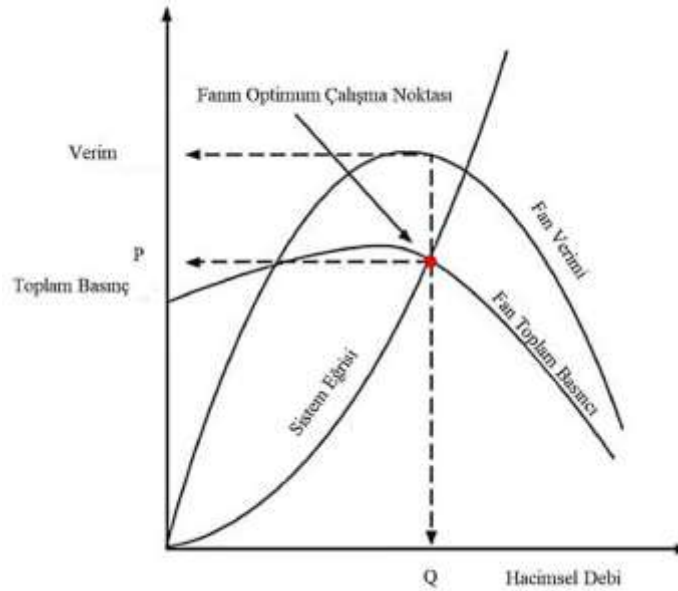
Fanlar emiş yönü ve basma yönü olarak iki grupta değerlendirilir. Radyal fan, Karışık akışlı fan, eksenel fan ve çapraz akışlı fanlar akış yönüne göre değerlendirilen fanlardır. Bu tip fanlarda ve enerji verimliliği projelerinde fan eğrileri incelenmelidir.

Fanların farklı devir sayılarında çalıştığı durumlardaki performansının tahmini, farklı büyüklükteki fanların performans tahmini ve havadan farklı yoğunlukta olan akışkanın transferini sağlarken fan eğrisinde etmek önemlidir. Farklı fan hızları için fan performans eğrileri Şekil 4.16. da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı Fan Hızları için Fan Performans Eğrileri (İlikan, 2014)

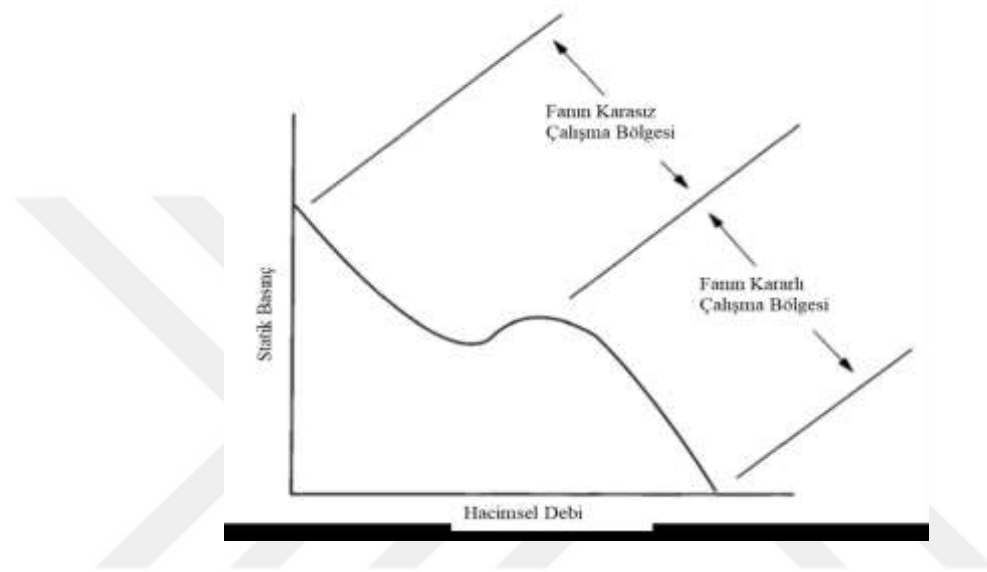
Enerji verimliliği çalışmalarında fanlar, sistemin ihtiyaçları en uygun şekilde tasarlanmalıdır. Şekildeki görselde örnek bir eksenel fana ait çalışma optimum çalışma noktası gösterilmektedir. Şekildeki görselde örnek bir eksenel fana ait çalışma optimum çalışma noktası gösterilmektedir. Sistem eğrisi ile fan eğrisinin birleştiği aralık optimum çalışma noktasını ifade eder. Bu nokta üzerindeki değerler ile çalıştırılan fanlarda maksimum verim elde edileceği ön görülmektedir. Fanların çalışma noktası grafiği Şekil 4.17. de gösterilmiştir (İlikan, 2014).



Şekil 4.17. Eksenel Fanın Çalışma Noktası (İlikan, 2014)

Eksenel fan örneğinde kararlı çalışma noktası önem arz etmektedir. Performans eğrisi incelendiğinde de statik basıncın sıfır olduğu noktadan değerlendirilecek olursa, statik basıncın yükseldiği değerlerde debinin düşeceği fark edilmektedir. En üst noktaya kadar olan bölge fanın kararlı çalışma bölgesi olarak adlandırılır. Fanın ulaşabileceği maksimum verim bu bölge içerisindeki değerler dizisinde olacaktır (İlikan, 2014).

Eksenel fanların kararlı çalışma karakteristiğine ait görsel Şekil 4.18. de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Eksenel Fanların Kararlı ve Kararsız Çalışma Karakteristiği (Bleier, 1998)

4.7.1. Fan Ölçüm ve Analizler

İşletmede süt tozu ve peynir altı tozu üreten beş adet kule ünitesi bulunmaktadır. Her kule de radyatör ve baca fanları bulunmaktadır. Baca fanları, kule içerisinden aldığı havayı ilk olarak filtrelelere devamında ise atmosfere transfer etmektedir. Filtreden geçemeyen ürünler tekrar kuleye transfer edilmektedir.

Ürün atomizeler ile kuleye püskürtülmektedir. Radyatör fanları, kuleye püskürtülen ürünün kurutulması için kule içerisine sıcak hava transfer etmektedir. Baca fanları ve radyatör fanları VSD'li olup işletme durumuna göre manuel olarak devir ayarı yapılmaktadır.

Baca fanlarına ve radyatör fanına ait görseller Şekil 4.19. da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Baca fanları

Fanların çalışma rejimini incelemek ve sistem verimini belirlemek amacıyla mekanik ölçümlerle eşzamanlı olarak elektriksel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ölçümler kapsamında enerji analizörü ile aktif güç ölçülmüştür. Mekanik ölçümler kapsamında, pitot tüpü ile fanların emme ve basma tarafında statik basınç ölçülmüştür. Statik basınç, hat içerisindeki akışkanın yönsüz olarak hattın her noktasına uyguladığı basınçtır. Hattın içindeki yeni kazan baca fanı akışkan debisini belirlemek amacıyla pitot tüpü ile dinamik basınç ölçülmüştür. Dinamik basınç akışkanın hareketi yönünde önündeki engellere uyguladığı basınçtır. Kule-3 radyatör fanı, kule-3 baca fanı, kule-2 radyatör fanı ve kule 5 radyatör fanı debilerinin belirlenebilmesi için çizgisel hız, pervane hız probu ile ölçülmüştür. Aynı zamanda daldırma batırma sıcaklık probu ile fan içerisindeki akışkanın sıcaklıkları ölçülmüş ve hat ebatları alınmıştır.

Yapılan ölçüm sonucu alınan değerler Tablo 4.31. de verilmiştir.

Tablo 4.31. Fanlardan alınan bilgi ve ölçümler

Fan	Bağlantı Ekipmanı	Kontrol Yöntemi	Frekans	Kapasite	Etiket Gücü	Dinamik Basınç	Sıcaklık	Alan	Basma Basıncı	Emme Basıncı	Çizgisel Hız	Aktif Güç	Yıllık Çalışma Saati
			Hz	%	kW	hPa	°C	m ²	hPa	hPa	m/s	kW	h/yıl
Kule-1 Islak Baca Fanı	Kayış-Kasnak	VSD	-	86,00	45,00	2,77	81,00	0,28	1,20	-25,10	-	31,40	7,200
Kule-3 Radyatör Fanı	Kayış-Kasnak	VSD	-	77,00	30,00	-	44,20	1,20	11,60	-7,90	3,50	13,45	8,400
Kule-3 Baca Fanı	Kayış-Kasnak	VSD	-	82,00	55,00	1,12	78,50	0,50	2,20	-35,90	12,54	41,40	8,400
Kule-2 Baca Fanı 1	Kayış-Kasnak	VSD	-	39,00	-	0,90	87,70	0,35	8,40	-17,90	-	23,23	8,400
Kule-2 Baca Fanı 2	Kayış-Kasnak	VSD	-	50,00	-	1,46	86,40	0,28	6,60	-22,00	-	25,20	8,400
Kule-2 Radyatör Fanı	Kayış-Kasnak	VSD	45,00	-	-	-	50,00	2,66	12,50	-3,50	4,20	24,84	8,400
Kule-4 İç Akışkan Yatak Fanı	Direkt-Akuple	VSD	-	70,00	37,00	2,82	61,60	0,07	36,70	-2,70	-	14,40	7,200
Kule-5 Radyatör Fanı	Kayış-Kasnak	VSD	46,40	-	45,00	-	44,50	0,16	41,30	-9,30	24,6	31,12	7,200

Fanlarda ki debi miktarı hesabı, Formül 4.23 ile hesaplanır;

$$Q = V * A \quad (4.23)$$

Debi: Q (m³/h)

Hız: V (m/s)

Kesit Alanı: A (m²)

Fanın akışkan gücü (kW) aşağıdaki Formül 4.24 ile hesaplanabilmektedir.

$$P_{fan} = \frac{\Delta p * Q}{3.600 * 102} \quad (4.24)$$

P_{fan} : Fan Gücü (kW)

Debi: Q (m³/h)

Basınç Farkı: ΔP (mmSS), (Bleier, 1998).

Fan sistemlerinde verimlilik hesabı, Formül 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28 ile hesaplanır.

$$\mu_{fan} = \frac{P_{fan}}{P_{mil}}, \quad (4.25)$$

μ_{fan} : Fan verimi (%)

P_{fan} : Fan Gücü (kW)

P_{mil} : Mil gücü (kW)

$$\mu_{tahrik\ sis} = \frac{P_{mil}}{P_{elek\ motor}}, \quad (4.26)$$

$\mu_{tahrik\ sis}$: Tahrik sistemi verimi (%)

P_{mil} : Mil Gücü (kW)

$P_{elek\ motor}$: Elektrik motoru gücü (kW)

$$\mu_{elek\ motor} = \frac{P_{elek\ motor}}{P_{elek}}, \quad (4.27)$$

$\mu_{elek\ motor}$: Elektrik motoru verimi (%)

$P_{elek\ motor}$: Elektrik motoru gücü (kW)

P_{elek} : Şebekeden çekilen gücü (kW)

Toplam verim;

$$\mu_{toplaml} = \mu_{fan} * \mu_{tahrik\ sis} * \mu_{elek\ motor} \quad (4.28)$$

(Bleier, 1998)

Alınan ölçümler ve yapılan incelemeler sonucunda fanların sistem verimleri (fan + aktarma elemanı + elektrik motoru) belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucu tespit edilen sistem verimleri Tablo 4.32. de verilmiştir.

Mevcut fanların sistem verimleri hakkında yorumlama yapabilmek için aynı debi ve basınç farkında çalışabilecek sistem verimi daha yüksek fanlar araştırılmıştır. Kule-3 radyatör fanı (%60,89), kule-2 radyatör fanı (%71,94) ve kule-5 radyatör fanı (%63,56) sistem verimlerinin iyi/ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Kule-1 ıslak baca fanı (%57,64), kule-3 baca fanı (%57,97), kule-2 baca fanı 1 (%57,04), kule-2 baca fanı 2 (%58,69) ve kule-4 iç akışkan yatak fanı (%47,43) sistem verimlerinin iyi/ideal seviyelerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Sistem verimi düşük olan kule-1 ıslak baca fanı, kule-3 baca fanı, kule-2 baca fanı 1, kule-2 baca fanı 2 ve kule-4 iç akışkan yatak fanının daha verimli fanlar ile değiştirilmesi ile enerji tasarrufu sağlanabilir. Sistem verimi düşük fanların daha verimli fanlar ile değiştirilmesi ile öngörülen yıllık enerji tasarrufu potansiyeli hesabı Tablo 4.33'te verilmiştir.

Tablo 4.32. Fanlara ait akışkan gücü ve sistem verimi

Fan Adı	Basma Basıncı	Emme Basıncı	Fark Basıncı	Çizgisel Hız	Debi	Akışkan Gücü	Güç	Sistem Verimi
	mmSS	mmSS	mmSS	m/s	m ³ /h	kW	kW	%
Kule-1 Islak Baca Fanı	12,24	-255,95	268,19	25,03	24.779,70	18,10	31,40	57,64
Kule-3 Radyatör Fanı	118,29	-80,56	198,85	3,50	15.120,00	8,19	13,45	60,89
Kule-3 Baca Fanı	22,43	-366,08	388,51	12,54	22.680,35	24,00	41,40	57,97
Kule-2 Baca Fanı 1	85,66	-182,53	268,19	14,40	18.144,00	13,25	23,23	57,04
Kule-2 Baca Fanı 2	67,30	-224,34	291,64	18,31	18.627,86	14,79	25,20	58,69
Kule-2 Radyatör Fanı	127,46	-35,69	163,15	4,20	40.219,20	17,87	24,84	71,94
Kule-4 İç Akışkan Yatak Fanı	374,24	-27,53	401,77	24,55	6.244,05	6,83	14,40	47,43
Kule-5 Radyatör Fanı	421,14	-94,83	515,97	24,60	14.077,72	19,78	31,12	63,56

Tablo 4.33. Sistem verimi düşük fanların daha verimli fanlar ile değiştirilmesi ile öngörülen yıllık enerji tasarrufu potansiyeli hesabı

Kompresör	Mevcut Durum			Uygulama Sonrası			Tasarruf	
	Hava Debisi	Yıllık Hava Debisi	Yıllık Enerji Tüketimi	Spesifik Enerji Tüketimi	*Spesifik Enerji Tüketimi	Yıllık Üretilen Hava Debisi	Yıllık Enerji Tüketimi	Yıllık Enerji Tasarrufu
	Nm ³ /dk	Nm ³ /yıl	kWh/yıl	kWh/ Nm ³	kWh/ Nm ³	Nm ³ /yıl	kWh/yıl	kWh/yıl
Özen Kompresör	8,2	4.132.800	711.668	0,1722	0,1260	4.132.800	520.732,80	190.935
Dalgakıran Kompresör	10,8	5.443.200	831.720	0,1528	0,1200	5.443.200	653.184,00	178.536

4.7.2. Tasarruf önerileri

Alınan ölçümler ve yapılan incelemeler sonucunda fanların sistem verimleri (fan + aktarma elemanı + elektrik motoru) belirlenmiştir.

Mevcut fanların sistem verimleri hakkında yorumlama yapabilmek için aynı debi ve basınç farkında çalışabilecek sistem verimi daha yüksek fanlar araştırılmıştır. Kule-3 radyatör fanı (%60,89), kule-2 radyatör fanı (%71,94) ve kule-5 radyatör fanı (%63,56) sistem verimlerinin iyi/ideal seviyelerde olduğutespit edilmiştir. Kule-1 ıslak baca fanı (%57,64), kule-3 baca fanı (%57,97), kule-2 baca fanı 1 (%57,04), kule-2 baca fanı 2 (%58,69) ve kule-4 iç akışkan yatak fanı (%47,43) sistem verimlerinin iyi/ideal seviyelerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Sistem verimi düşük olan kule-1 ıslak baca fanı, kule-3 baca fanı, kule-2 baca fanı 1, kule-2 baca fanı 2 ve kule-4 iç akışkan yatak fanının daha verimli fanlar ile değiştirilmesi ile enerji tasarrufu sağlanabilir.

4.8. Aydınlatma Sistemleri

Aydınlatma sistemleri, elektrik tüketim değerlerinde ciddi bir pay sahibidir. İklimlendirme sistemlerinden sonra en fazla enerji tüketim kaynağı olarak aydınlatma sistemleri yerini almaktadır. Elektrik enerjisinin aydınlatma prosesleri açısından endüstriyel işletmelerde payı %20 , mağazalarda %30, ofislerde ise yaklaşık %40 olarak gözlenmektedir. Maliyet açısından çok ciddi bir harcama olduğu için ekonomik çözümlere olan araştırmaları bir hayli artırmıştır. Aydınlatmada, gelişen teknolojik ürünler ile beraberinde enerji tasarruflu armatürlerin kullanılması ve faydalanılan ışığın etkinliğinin artırılması enerji verimliliğine önemli bir rol almaktadır (Çolak, 2003).

Aydınlatmada enerji verimliliği, düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılarak ve bazı basit tedbirler alınarak sağlanabilir. Bazı basit tedbirler şu şekilde sıralanabilir:

1. Armatür alımında verimlilik sınıfı yüksek armatürler tercih edilebilir. Armatür seçimleri için en yüksek lümen/watt oranına (etkinlik faktörü) dikkat edilmelidir.

2. Gün ışığından faydalanmak çok önemlidir. Olabildiğince projelendirmeleri gün ışığını en aktif şekilde kullanmak üzere dizayn etmek gerekir.

3. Yüzey de oluşan toz ve kirlilik aydınlatma verimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle armatürlerinin periyodik bakımları yapılmalıdır.

5. Armatür ışık çıktısı kullanımı en verimli şekilde tasarlanmalıdır. Aydınlatılmak istenen yüzeylere lamba ışık çıktısının maksimum oranda temas etmesi, aydınlatma sisteminin enerji verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu tespit

edilmiştir.

6. Aydınlatmaların fotoselli, sensörlü ve zaman ayarlayıcılar vasıtasıyla kontrol edilebilmesi enerji tasarrufu açısından ciddi öneme sahiptir.

7. Yapı bileşenleri seçiminde de enerji tasarrufuna dolaylı bir şekilde katkıda bulunulabilir. Duvar ve tavan malzemeleri mümkün olduğunca açık renkli seçilecek olursa ışığı koyu renkli malzemelere göre absorbe etme faktörü daha az olacaktır. Bu tercihler sayesinde ortama verilen ışık daha canlı kalacaktır ve aydınlatma tasarımı ile verimliliğine katkı sağlayacaktır (Özbay ve Tunay, 2007).

Aydınlatma Terimlerinin bazıları şunlardır;

Aydınlatma: Aydınlatma, cisimlere, nesnelere, çevrelere ve ufak ya da büyük bölgelere, bunların görülebilmesi için uygulanan ışık olarak tanımlanmaktadır.

Etkinlik Faktörü: Işık kaynaklarının şebekeden çektikleri güç ile yaydıkları ışık akısı arasında oluşan orandır. Lümen/Watt'tır.

Işık Akısı: Işık kaynağından yayılan ve gözün değerlendirebildiği ışınım, ışık akısı olarak ifade edilir. Işık akısı birim yüzeye dik olarak düşen ışık miktarını temsil eder. Işık akısı birimi lümen (Lm) ve sembolü ϕ 'dir.

Işık Şiddeti: Işık kaynağının belirli bir yönde yaydığı ışık enerjisi ışık şiddeti olarak tanımlanır. Işık kaynağının birimi kandela'dır (Cd).

Aydınlık Düzeyi: Birim alana (ΔS) düşen ışık akısı ($\Delta \phi$) miktarına aydınlık düzeyi denir. Birimi "lüks"dür ve "E" harfi ile gösterilir (Erten, 2014).

4.8.1. Aydınlatma Ölçüm ve Analizler

İşletmede 280 adet 2x18 W etiket gücünde aydınlatma armatürleri bulunmaktadır. İşletmedeki armatürlere ait bilgiler işletme yetkilileri tarafından temin edilmiştir. Mevcut aydınlatma bilgileri Tablo 4.34. de verilmiştir.

Tablo 4.34. İşletmeye ait aydınlatma bilgileri

Armatür Tipi	Armatür Sayısı	Birim Armatür İçindeki Lamba Sayısı	Toplam Lamba Sayısı	Birim Lamba Gücü	Birim Armatür Gücü	Toplam Armatür Gücü	Yıllık Çalışma Saati
	Adet	Adet	Adet	W	W	W	h/yıl
2x18W Floresan	280	2	560	18	36	10.080	8.400

Aydınlatmada, etkin ışık kaynakları ve verimli armatürlerin kullanılması ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Mevcut armatürlerin LED armatürler ile değişimi sonucu enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilmesi mümkündür. Mevcut armatürlerin değiştirilmesi ile ilgili analizler aşağıda verilmiştir. Bu analizlerde, mevcut armatürler yerine aynı aydınlık seviyesine sahip armatürler önerilmiştir. Değişim analizlerinde, mevcut armatürlerin birim armatür gücü değerleri referans alınarakdeğişim hesapları yapılmıştır. İşletmedeki aydınlatma armatürlerinin verimli LED armatürlerle değiştirilmesiyle sağlanabilecek uygulama sonrası enerji tüketim miktarı ve tasarruf potansiyeli hesabı Tablo 4.35. de verilmiştir.

Tablo 4.35. Armatürlerin Tasarruf Potansiyeli Hesabı

Armatür Tipi	Mevcut Durum		Uygulama Sonrası			Tasarruf
	Toplam Armatür Gücü	Yıllık Enerji Tüketimi	Önerilen Armatür	Toplam Güç	Yıllık Enerji Tüketimi	Yıllık Enerji Tasarrufu
	W	kWh/yıl	W	W	kWh/yıl	kWh/yıl
2x18W Floresan	10.080	84.672	18	5.040	504 0	42.336

4.8.2. Tasarruf önerileri

Aydınlatmada, etkin ışık kaynakları ve verimli armatürlerin kullanılması ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Mevcut armatürlerin LED armatürler ile değişimi sonucu enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilmesi mümkündür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Endüstriyel tesis genelinde enerji tüketim noktalarında gerekli ölçümler yapılmıştır. Enerji analizörü ile elektrik ölçümleri, basınçlı hava debimetresi ile basınçlı hava debi ölçümleri, termal kamera ile sıcaklık tespitleri, yüzey sıcaklık probu ile yüzey sıcaklıkları tespiti, baca gazı analizörü ile baca gazı analizleri, ultrasonik sıvı debimetresi ile sıvı akışkan debi ölçümleri, ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava kayıpları, pitot tüpü ile basınç ölçümü ve pervane hız probu ile çizgisel hız ölçümleri yapılmıştır.

Ölçümlerden alınan veriler ile her bir enerji tüketim noktası ve bölümü için enerji tüketim miktarları, tasarruf miktarları ve proje önerileri tespit edilmiştir. Tasarruf Projelerinin toplu sonuçları Tablo 4.36. da verilmiştir.

Tespit edilen verim artırıcı projeler ile Doğalgaz enerjisinden 332 TEP ve Elektrik enerjisinden 133 TEP kazanılabileceği hesaplanmıştır. Bu projelerin gerçekleştirilmesi ile 545.082 \$ yatırım bedeli sonucu 654.460 \$ kazanç sağlanabileceği tespit edilmiştir. Projeler içinde en yüksek enerji kazancınının 199 TEP ile Selnikel buhar kazanına ekonomizer uygulaması ile olacağı görülmektedir. Bu uygulamanın 81.382 \$ yatırım maliyetine olmasına rağmen 0,4 yıl gibi çok kısa bir geri ödeme süresi ile öncelikli, proje olması gerektiği tavsiye edilebilir. Kompresör değişimleri ise düşük enerji kazançlarıyla birlikte yüksek maliyetler ve uzun geri ödeme süreleri ile ertelenebilir. Genel olarak projelerin uygulanmasında geri ödeme süreleri dikkate alınarak bir sıralama yapılabilir.

İşletmede gerçekleştirilen enerji etüt çalışmaları ile işletme de 2020-2022 arası ortalama enerji tüketimleri ve ortalama üretim miktarları belirlenmiştir. İşletmelerde enerji tasarruf potansiyelini belirlenmesi amacıyla aylık ürün ve tüketilen enerji miktarı değerlerine göre standart doğru oluşturulmuştur. Doğrunun altında kalan verilere göre hedef denklemi belirlenmiştir. Hedef denklem ve aylık üretim değerleri ile işletmenin aylara göre tasarruf potansiyeli hesap edilmiştir. İşletme için öngörülen projelere göre projelerin uygulanması ile elde edilecek yıllık tasarruf değerleri belirlenmiştir. Yıllık enerji tasarrufunun on iki aya bölünmesi ile aylık enerji tasarruf değeri hesaplanmıştır. Aylık enerji tasarruf miktarınının mevcut durumdaki aylık enerji tüketim çıkarılması ile proje sonrasında aylık tüketim değerleri belirlenmiştir. Tüm bu değerler Tablo 5.1. de toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 5.1. Tasarruf Projeleri Toplu Sonuçları

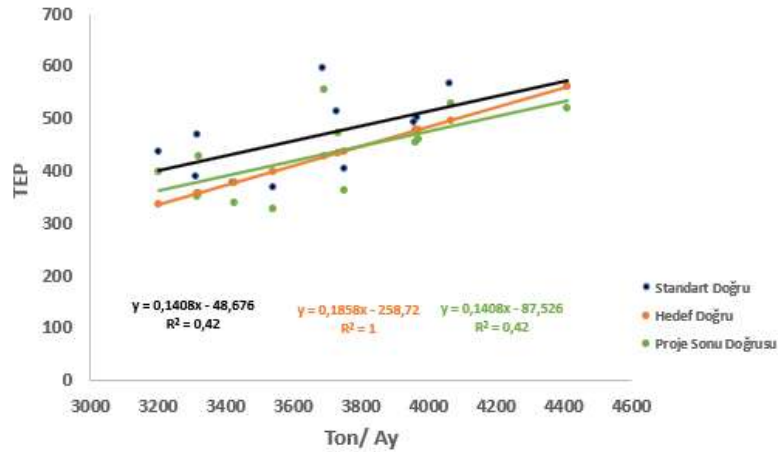
Etüt Bölümleri	Önerilen Projeler	Yıllık Enerji Tasarruf Potansiyeli (TEP)		Proje Kazanç ve Yatırım Maliyeti (\$)		BGÖS (yıl)
		Doğalgaz	Elektrik	Proje Kazanımı	Yatırım Maliyeti	
Kazanlar	Teta buhar kazanına yanma ayarı uygulanması	39,43	-	40.969	1.595	0,04
	Selnikel buhar kazanına ekonomizer uygulaması	199,96	-	206.962	81.382	0,40
	Teta buhar kazanının birincil kazan olarak çalıştırılması uygulaması	59,92	-	62.265	-	-
Yalıtım	Vanalarda izolasyon uygulaması	13,09	-	13.598	8.721	0,64
	Hatlarda izolasyon uygulaması	4,65	-	4.835	2.581	0,54
	Yüzeylerde izolasyon uygulaması	15,46	-	16.062	7.469	0,47
Kompresörler	Özen kompresörün düşük SET'li kompresör ile değişimi	-	16,42	38.390	132.171	3,44
	Dalgakıran kompresörün düşük SET'li kompresör ile değişimi	-	15,35	35.897	107.695	3,01
	Basınçlı hava hatlarında kayıp kaçakların giderilmesi	-	26,29	61.469	-	-
Elektrik Motorları	Elektrik motor değişimleri	-	41,86	96.308	57.527	0,60
Pompalar	NF-2 yüksek basınç pompası değişimi	-	8,11	18.655	35.180	1,88
	RO besleme pompası değişimi	-	2,67	6.136	13.402	2,18
	800 tonluk kule pompası değişimi	-	7,51	17.281	13.641	0,79
Soğutma	Verim artırıcı proje önerisinde bulunulamamıştır.					
Fanlar	Kule-1 ıslak baca fanı değişimi	-	1,65	3.803	17.459	4,59
	Kule-3 baca fanı değişimi	-	2,38	5.485	17.442	3,18
	Kule-2 baca fanı- 1'in değişimi	-	2,90	6.665	14.663	2,20
	Kule-2 baca fanı-2'nin değişimi	-	2,71	6.232	14.709	2,36
	Kule-4 iç akışkan yatak fanı değişimi	-	2,20	5.071	6.796	1,34
Aydınlatmalar	Armatür değişimleri	-	3,64	8.377	12.649	1,51
	TOPLAM	332,51	133,69	654.460	545.082	

Tablo 5.2. Mevcut, hedeflenen ve proje sonrası aylık enerji tüketim değerleri

	MEVCUT DURUM				HEDEF			PROJE SONRASI		
	Üretim TON	Elektrik TEP	Doğalgaz TEP	Toplam TEP	Toplam TEP	Tas Pot TEP	Elektrik TEP	Doğalgaz TEP	Toplam TEP	Tasarruf TEP
Ocak	3690	116	478	594	427	167	105	450	555	38,85
Şubat	3732	107	404	511	435	77	96	377	472	38,85
Mart	4065	117	450	567	497	70	106	422	528	38,85
Nisan	4410	114	445	560	561	-1	103	418	521	38,85
Mayıs	3968	126	374	500	479	22	115	346	462	38,85
Haziran	3960	128	365	493	477	16	117	337	454	38,85
Temmuz	3751	144	259	402	438	-36	132	231	364	38,85
Ağustos	3541	140	228	368	399	-31	129	200	329	38,85
Eylül	3424	126	251	377	377	-1	114	224	338	38,85
Ekim	3315	101	288	390	357	32	90	261	351	38,85
Kasım	3202	92	345	437	336	101	81	317	398	38,85
Aralık	3319	112	355	467	358	109	101	327	428	38,85
TOPLAM	44378	1423	4243	5666	5141	525	1289	3910	5200	466,2
					%	9,3			%	8,2

İşletme de 2020-2022 arası ortalama yıllık enerji tüketimi doğalgaz ve elektrik toplam 5666 TEP'dir. Belirlenen hedef denklemine göre işletmenin yıllık enerji tasarrufunun 525 TEP olması mümkündür. Bu değer yıllık enerji tüketiminin %9,3'üne karşılık gelmektedir. İşletme için önerilen projelerin uygulanması sonucu yıllık 466,2 TEP, aylık 38,85 TEP enerji tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir. Projeler sonrası kazanılabilecek enerji tasarrufu mevcut tüketimin %8,2. Bu durum hedeflenen enerji tasarrufuna ulaşabilmek yeni projelerin yapılabileceği anlamına gelmektedir.

İşletmenin 2020-2022 arası ortalama aylık üretim değerlerine bağlı olarak belirlenen standart, hedef ve proje sonrası denklem ve doğruları Şekil 5.1. de sunulmuştur. Aylık üretim artması ile kullanılan enerji miktarı artmaktadır. Standart doğrunun altında kalan noktalarla hedef denklemini belirlenmiştir. Üretim değerleri ve hedef denklemini ile hedef doğrusu oluşturulmuştur. Projeler sonunda aylık enerji tasarrufunun mevcut tüketim değerlerinden çıkarılması ile elde edilen değerlerle proje sonu değerleri ve denklemini elde edilmiştir. Aylık 3810 ton üretim değerine kadar proje sonu denklemini standart denklem ile hedef denklem arasında oluşmuştur. Bunun anlamı bu üretim değerinin altında işletmenin hedef tasarrufa henüz ulaşmadığı yeni tasarruf projelerinin geliştirilebileceğidir. Üretimin bu değer üzerinde olduğu durumlar için hedef tasarrufun sağlandığı hatta daha fazla tasarruf sağlanabildiği görülmektedir.



Şekil 5.1. Standart, hedef ve proje sonrası denklem ve doğruları

ÖNERİLER

Endüstriyel tesiste yapılan enerji etüdü sonucu potansiyel projelerin uygulanması önerilmektedir.

Tüm bu projelerin ve tesisin genel enerji tüketiminin sürekli takip etmek ve yeni projeler geliştirmek amacı ile enerji takip sistemlerinin kurulması tavsiye edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2007, Resmi Gazete, [online], <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>, (Ziyaret Tarihi : 07.09.2022).
- Abdelaziz E.A., Saidur R. and Mekhilef S., 2011, A Review on Energy Saving Strategies in Industrial Sector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 150–168.
- Ataseven Z.Y. ve Gülaç Z.H., 2012. Durum ve Tahmin, Süt ve Süt Ürünleri 2011/2012, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE Yayın No: 191.
- Aydın M., 2016, Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: Türkiye Değerlendirmesi, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, Cilt:14 Sayı:28, s: 409-441.
- Aypak N., Gülbal A., Etemoğlu B., Çakal C., Aydemir E., ve Gümüş Z. (2016) ‘Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği El Kitabı’, 1.Baskı, BUSİAD Yayınları, Bursa, s: 51.
- Bayram O, 2019, Endüstrilerde Kullanılan Santrifüj Pompaların Enerji Verimlilikleri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 39 – 42.
- Bayraktar B., 2021, Maden Sektöründe Enerji Verimliliği: Bir Maden İşletmesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-131.
- Bilgin A., 2011, Kazanlarda Baca Gazı Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi Makalesi, 617-618.
- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2016, Süt ve Süt Ürünleri İmalatı Kaynak Verimliliği Rehberi, Ankara, Yayın No:731, 39-104.
- Bleier, F. P., Fan Handbook: Selection, Application, and Design, McGraw-Hill, New York, 1998.
- Çankaya B., 2022, Yıllık Enerji Tüketimi 1.000 Tep Üzeri Bir Sanayi İşletmesinin Enerji Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-56.
- Çetin A., Demir Z. ve Çolak N., 2016, "Elektrik Motorları Verimlilik Analizi ve Porsuk MYO Örneği". *Elektronik Mesleki Gelişim Ve Araştırmalar Dergisi* 4 /1, Haziran, 15-23.
- Çolak, N., 2003, Hareket Sensörleri İle Aydınlatmanın Kontrolü, *3e Electrotech Dergisi*, Sayı 105, Şubat, 70-71.
- EIE-UETM, 2003, Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi Sanayide Enerji Yönetimi Esasları”. Cilt No:3, Ankara, 17-22.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 a, Enerji Yöneticiliği Eğitimleri, Kazanlarda Enerji Verimliliği Sunumu, Ankara, https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/E%C4%9Fitimler/EY_Mod%C3%BCI_1_E%C4%9Fitim_Sunumlar%C4%B1/1_22.pdf (Ziyaret Tarihi : 12.05.2022).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 b, Enerji Yöneticiliği Eğitimleri, Yakıtlar-Yanma Yakma Sistemleri Sunumu, Ankara, https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/E%C4%9Fitimler/EY_Mod%C3%BCI_1_E%C4%9Fitim_Sunumlar%C4%B1/1_23.pdf (Ziyaret Tarihi : 06.05.2022).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 c, Enerji Yöneticiliği Eğitimleri, Termodinamik Temel Kavramlar ve Isı Transferi Sunumu, Ankara, https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/E%C4%9Fitimler/EY_Mod%C3%BCI_1_E%C4%9Fitim_Sunumlar%C4%B1/1_12.pdf (Ziyaret Tarihi : 07.05.2022).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 d, Enerji Yöneticiliği Eğitimleri, Isı Yalıtımı Sunumu, Ankara, https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/E%C4%9Fitimler/EY_Mod%C3%BCI_1_E%C4%9Fitim_Sunumlar%C4%B1/1_16.pdf (Ziyaret Tarihi : 21.06.2022).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 e, Türkiye Ulusal Enerji Eylem Planı, Ankara, https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf (Ziyaret Tarihi : 6.7.2023).

Esen K., 2015, Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat., Elektrik Mühendisleri Odası, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, Sakarya.

Fluke 2021, Fluke Energy Logger, USA.

GE 2008, Ultrasonic Liquid Flowmeter, USA.

Gençoğlu M.T., 2005, 'İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu', III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Ankara.

Günay F. N. , 2021, Ticari Binalara Örnek Özel Sektördeki Bir Otel İşletmesinin Enerji Etüt Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-68.

Hadra M., 2018, Çubuk Haddehanesi Tav Fırınında Enerji Etüdü ve Optimizasyonu, Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-54.

İlikan A.N., 2014, Kanat Profili Dizilimi Biçimlerinin Eksenel Fanların Performansına Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-18.

- Karen, 2022, Enerji Verimliliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Enerji Yöneticiliği ve Etüt- Proje Sertifika Eğitimi Ders Notları, Ankara.
- Kart M. Ç. Ö. ve Demircan V., 2014, Dünyada ve Türkiye’de Süt ve Süt Ürünleri Üretimi, Tüketimi ve Ticaretindeki Gelişmeler, Makalesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, 78-96.
- Kavak K., 2005, ‘Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi’, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, 1-10.
- Kılıç Ç. F. (2017) Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2), 147-158.
- Kıyılmaz M. B., Keçebaş A. ve Ertürk M., 2021, Sanayide Enerji Yönetimi Sistemim İçin Bir Gıda Tesisinin Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi, International Journal of Pure and Applied Sciences, 7 (1), 51- 62.
- Kocabaş C., 2021, Enerji Veriminin Artırılmasında Süreç İyileştirme Tekniklerinin Endüstriyel Uygulaması, Doktora Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 1-159.
- Koç A. Yağlı H. Koç Y. ve Uğurlu İ., 2018, Dünyada ve Türkiyede Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine Dergisi, 692:59.
- Korkmaz E., 2017, Pompalı Sistemlerde Enerji Tasarruf Potansiyelleri, International Conference on Energy Systems Engineering Dergisi, Kasım, c: 1, s: 264.
- MRU 2018, Flue Gas Analyzer, Germany.
- Onat A. ve İsa K., 2017, ‘İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği’’ Kitabı, İstanbul.
- Özbay E. ve Gençoğlu T. M., 2007, Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri, Ulusal Kongre, Eskişehir, s: 1-5.
- Öztemir H., 2010, Basınçlı Hava Sistemleri : http://deneysan.com/content/images/documents/ey-08_76162715.pdf (Ziyaret Tarihi: 29.05.2023).
- Perude Be, Freeman D., Hunt G. ve Reeder T., 2009, Water Efficiency Guide for Commercial Industrial and Institutional Facilities, Mayıs, 1:150.
- Ruşen E.S., 2019, Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO₂ Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Araştırma Makalesi, Sayı:17, 564-569.
- Ruşen E. S. Ve Çevik M. S., 2020, Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Karaman, Cilt 24, Sayı 3, 539-552,

- Sapmaz S. ve Kaya D., 2017, Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt : 18, Sayı : 689, 23-26.
- Sarıgül A., 2010, Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 29- 67.
- Söğüt Z, İlten N. ve Oktay Z, 2011. Bir Salça Fabrikasında Enerji Taramasına Bağlı Enerji Tasarruf Potansiyelinin İncelenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey.
- Ş.Y. Erten, 2014, Aydınlatmada Enerji Verimliliğinin İncelenmesi: Endüstri Yapısı Örneği, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 1-97.
- Testo 2012 a, Testo Termal Imager, Germany
- Testo 2012 b, Surface Temperature Probe, Germany.
- Testo 2012 c, Propeller Speed Probe and Pitot Tube, Germany.
- TTMD, 2005, Su Soğutma Grupları Optimum Seçimi, <https://ttmd.org.tr/PdfDosyaları/TTMD-Dergisi-1.pdf> (Ziyaret Tarihi: 03.06.2023).
- Turna B., 2020, Eksenel Fanlarda Enerji Verimliliği: Tekstil Sanayi Örneği, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 16 -35.
- Türk Standartları Enstitüsü, 2018, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemleri Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz, Ankara.
- UESYSTEMS 2014, Ultrasonic Leak Detector, USA.
- Uzun A. ve Değirmen M., 2018, Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi, Uluslar Arası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, Cilt:4, Sayı:2, 5-15.
- Uzun E., 2021, Endüstriyel İşletmelerde Enerji İzleme Sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine Katkıları, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 19 – 76.
- VP INSTRUMENTS 2021, WPFlowScope M Flow Meter, Holland.
- Yuan C., Zhang T., Rangarajan A., Dornfeld D., Ziemba B. and Whitbeck R., 2006, 'A Decision-based Analysis of Compressed Air Usage Patterns in Automotive Manufacturing', Journal of Manufacturing Systems, 25(4), 293-300.