



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİR TAŞ KIRMA TESİSİNDEKİ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİN ENERJİ ETÜDÜ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

İsmail KİRAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz – 2025

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail KİRAZ tarafından hazırlanan “BİR TAŞ KIRMA TESİSİNDEKİ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ENERJİ ETÜDÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

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

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

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.

İsmail KIRAZ

Tarih:23/07/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR TAŞ KIRMA TESİSİNDEKİ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ENERJİ ETÜDÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

İsmail KİRAZ

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

2025, 95 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Doç. Dr. Fatih AYDIN

Doç. Dr. Seda ŞAHİN

Fosil yakıt tabanlı enerji kaynaklarının her geçen gün tükenmekte olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise dünya üzerindeki dengesiz dağılımı ülkeleri enerjide dışa bağımlı hale getirir. Arz talep ilişkisi açısından enerji, ekonominin farklı sektörleriyle olan bağı nedeniyle ülkelerin gelişmişlik düzeylerini değerlendirmede ve uluslararası ekonomi politikalarını belirlemede çok büyük bir yere sahiptir. Nüfus artışı yanında teknolojik gelişmeler, büyüyen sanayileşme ve üretim gerekliliği gibi unsurlar giderek artmakta olan enerji ihtiyacının karşılanmasında yeni kaynak arayışlarını kaçınılmaz kılmaktadır. Başta enerji fiyatlarındaki artış olmak üzere enerji arzında yaşanan güven problemleri, küresel ısınma gibi çevresel sorunlar, fosil kaynakların hızla tükenmesi ve enerjide dışa bağımlılığı azaltma gereksinimleri, mevcut enerji potansiyelinin daha verimli ve etkin kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. Ülkemizin enerjide büyük oranda dışa bağımlı olması gerçeği göz önünde bulundurularak enerji verimliliği çalışmalarının önemi daha da artmaktadır. Cevher zenginleştirme ve işleme tesisleri küresel enerji tüketimleri dikkate alındığında önemli miktarda enerji talep eden sanayi sektörleri arasındadır. Özellikle kırma gibi boyut küçültme işlemleri sırasında enerji tüketimi çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında, madencilik sektöründe önemli enerji tüketim payına sahip olan bir kırma tesisindeki genel enerji tüketim proseslerinde kazanılabilecek tasarruf yöntemleri incelenerek, tesisin enerji tüketim maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir. Kırma tesisindeki elektrik motorlarında, pompalarda, ısıtma-soğutma sistemlerinde, basınçlı hava sistemlerinde, tesis içi taşıma, fan ve aydınlatma sistemlerinde enerji tüketim noktaları ve son üç yıl içindeki toplam tüketim miktarları belirlenmiştir. Enerji etüdü çalışmalarında enerji analizörü, yüzey sıcaklık probu, pens ampermetre, termal kamera ve diğer ilgili cihazlar kullanılmıştır. Enerji etüdü yapılan tesiste 2022-2024 yılları arasında ortalama 884.506 ton/yıl üretim gerçekleştirildiği, bunun için 606,33 TEP/yıl elektrik ve 583,46 TEP/yıl akaryakıt enerji tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre tesisin hedef enerji tüketim değeri 1.136 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre tesiste %4,93 enerji tasarrufu yapılabileceği anlaşılmıştır. Önerilen projeler sonucu mevcut enerji tüketiminden 53,46 TEP/yıl enerji tasarrufu sağlanabileceği tespit edilmiştir. Yapılan enerji etüdü analizleri ile enerji verimlilik uygulamaları ve iyileştirme projeleri oluşturulmuş ve elde edilen sonuçların kırma tesisine nasıl bir fayda sağlayacağı incelenmiştir. Enerji verimliliği kapsamında ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi' nin gerekliliği ve faydaları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agrega, Enerji Analizi, Enerji Etüdü, Enerji Tasarrufu, Verimlilik, Taş Kırma

ABSTRACT

MS THESIS

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A STONE CRUSHING PLANT WITH ENERGY AUDIT

İsmail KİRAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY**

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

2025, 95 Pages

Jury

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Assoc. Prof. Dr. Fatih AYDIN

Assoc. Prof. Dr. Seda ŞAHİN

The gradual depletion of energy resources based on fossil fuels and the unbalanced distribution of renewable energy resources around the world make countries dependent on foreign sources of energy. In terms of supply-demand relationship, energy has a great place in evaluating the development levels of countries and determining international economic policies due to its relationship with different sectors of the economy. In addition to population growth, factors such as technological developments, growing industrialization and production requirements make it inevitable to seek new resources to meet the ever-increasing energy need. Confidence problems in energy supply, especially the increase in energy prices, environmental problems such as global warming, rapid depletion of fossil resources and the need to reduce foreign dependency on energy create the need to use the existing energy potential more efficiently and effectively. Considering the fact that our country is largely dependent on foreign sources of energy, the importance of energy efficiency studies increases even more. Ore enrichment and processing facilities are among the industrial sectors that demand significant amounts of energy, considering global energy consumption. Energy consumption reaches very high levels, especially during size reduction processes such as crushing.

In this thesis study, it is aimed to reduce the energy consumption cost of the facility by examining the savings methods that can be gained in the general energy consumption processes of a crushing facility, which has a significant share of energy consumption in the mining sector. Energy consumption points and total consumption amounts in the last three years in the electric motors, pumps, heating-cooling systems, compressed air systems, in-plant transportation, fan and lighting systems in the crushing facility were determined. Energy analyzer, surface temperature probe, clamp meter, thermal camera and other related devices were used in energy audit studies. In the facility where the energy audit was conducted, the average between 2022-2024 was 884.506 tons/year of production, for this 606,33 TOE/year electricity and 583,46 It has been determined that the liquid fuel energy consumption is TEP/year. According to the data obtained, the target energy consumption value of the facility is 1.136 It is determined as TEP/year. According to this result, it was understood that %4,93 energy savings could be achieved in the facility. It has been determined that 53.46 TEP/year of energy savings can be achieved from the current energy consumption as a result of the proposed projects. Energy efficiency practices and improvement projects were created with the energy study analysis and it was examined how the results obtained would benefit the crushing plant. Within the scope of energy efficiency, the necessity and benefits of ISO 50001 Energy Management System were examined.

Keywords: Aggregate, Efficiency, Energy Analysis, Energy Audit, Energy Saving, Stone Crushing Plant

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY' a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmamda tesislerinin imkanlarından faydalandıran ve desteklerini esirgemeyen kıymetli işletme yöneticilerine ve değerli arkadaşım Hasan AŞKAN' a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

İsmail KİRAZ
KONYA-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
TABLolar LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kaynakları	1
1.2. Enerji Politikaları ve Hedefleri.....	4
1.3. Enerji Verimliliği Düzenlemeleri	7
1.4. Endüstride Enerji Etüdü	10
1.4.1. Ön enerji etüdü	12
1.4.2. Detaylı enerji etüdü	13
1.5. Kırma aş Tesisi ve Enerji	13
1.5.1. Besleyiciler.....	16
1.5.2. Kırıcılar	16
1.5.3. Konveyörler.....	17
1.5.4. Eleme sistemleri	17
1.5.5. Elektrik motorları	17
1.5.6. Dizel motorlar	18
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Materyal.....	27
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Enerji analizörü	29
3.2.2. Yüzey sıcaklık probu.....	30
3.2.3. Termal kamera.....	31
3.2.4. Basınçlı hava debimetresi.....	32
3.2.5. Ultrasonik sızıntı dedektörü	34
3.2.6. Pens ampermetre	35
4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	37
4.1. Enerji Tasarruf Hedeflerinin Belirlenmesi	37
4.2. Hedef Doğru Denklemi	39
4.3. Enerji Tüketimlerinin Belirlenmesi	40
4.4. Önemli Enerji Kullanıcıları	46
4.5. Elektrik Enerjisi.....	48

4.6. Besleyici Analiz ve Ölçümleri	55
4.7. Kırıcı Analiz ve Ölçümleri	60
4.8. Bant Konveyör Analiz ve Ölçümleri.....	65
4.9. Elek Analiz ve Ölçümleri	71
4.10. Elektrik Motorları ve Tesisat Analiz ve Ölçümleri	72
4.11. Aydınlatma Analiz ve Ölçümleri	79
4.12. Dizel Araç Analiz ve Ölçümleri	80
5. SONUÇ	91
6. KAYNAKLAR.....	92



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

CO₂ = Karbondioksit

Hp = Beygir

\$ = Amerikan Doları

T5 = 16 mm Tüp Floresan

Eur = Euro

N₂ = Azot

Ar = Argon

O₂ = Oksijen

N₂₀ = Protoksit

NG = Doğalgaz

Ω = Ohm

°C = Derece Santigrat

V = Volt

W = Watt

A = Amper

Lm = Lümen

Cd = Işık Şiddeti

E = Aydınlık Düzeyi

PSI = Basınç

CFM = Hava Akış Miktarı (m³/dk)

h = saat

Flux = Işık Verimliliği (lm/w)

F = Frekans

T = Periyot

d = Yay Çapı

Di = Yay İç Çapı

Dm = Yayın Ortalama Çapı

Dd = Yayın Dış Çapı

w = Yay İndeksi

a = Yay Sarım Açısı

G = Kırma Alanı Giriş Ağız Açıklığı

L = Kırma Alanı Yüksekliği

b = Maksimum Besleme Büyüklüğü

W = Kırma Alanı Uzunluğu

L_{MAX} = Kırıcının Maksimum Açıklığı

L_{MIN} = Kırıcının Minimum Açıklığı

L_T = Ağız Uzunluğu

n = Dakikadaki Strok Sayısı

θ = Nip Açısı

R = Boyut Küçültme Oranı

n_c = Kritik Devir Sayısı

Q_m = Çeneli Kırıcı Kapasitesi

T = Çene Hareket Miktarı

ρ_s = Kırılan Cevherin Özgül Ağırlığı

γ = Kırılan Malzemenin Özgül Ağırlığı

P = Kırıcı Motor Gücü

W_i = Bond İş İndeksi

Cr = Krom

Ni = Nikel

Mo = Molibden

Mn = Mangan

$V = \Phi_s$ = Taşınma Açısı

Φ_r = Yığın Açısı

A = Konveyör Taşıma Kesit Alanı

V = Bant hızı

Q = Konveyör Taşıma Kapasitesi

A_b = Konveyör Trapez Alan Miktarı

A_s = Konveyör Dairesel Alan Miktarı

F_i = Bant Gerilme Kuvveti

q_m = Malzeme Birim Ağırlığı

q_b = Bant Birim Ağırlığı

f = Rulo Sürtünme Katsayısı

β = Konveyör Eğim Açısı

DB = Deşarj Bandı

BK = Bant Konveyör

θ = Konveyör Bant Sarım Açısı

e = Euler Sabiti
 μ = Bant İle Tambur Sürtünme Katsayısı
 G = Elek Santrifüj Kuvveti
 E_a = Elek Alanı (m^2)
 Q_{ea} = Beslenen Malzemedeki Elek Altı Malzeme Kapasitesi
 η = Emniyet Faktörü
 Q = Elek Üstü Kapasitesi (TPH)
 δ = Malzeme Yiğma Yoğunluğu
 $\cos \varphi$ = Güç Faktörü
 n = Motor Hızı
 p = Motor Kutup Sayısı
 X_l = Endüktif Reaktans
 X_c = Kapasitif Reaktans
 P_a = Pascal
 P_e = Dizel Motor Faydalı Güç
 T_e = Dizel Motor Efektif Tork
 $E.0x$ = Ekskavatör Kodu
 $Y.0x$ = Yükleyici Kodu
 $LY.0x$ = Lastik Tekerlekli Yükleyici Kodu

Kısaltmalar

LPG	Liquefied Petroleum Gas (Sıvı petrol Gazı)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
KWh	Kilo Watt Saat
MWh	Mega Watt Saat
BP	British Petrol
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
AB	Avrupa Birliği
Rms	Dakikadaki Devir Sayısı
GW	Ciga Watt
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

IEA	International Energy Agency Uluslararası Enerji Ajansı
CADDET	Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (Enerji Teknolojilerini Destekleyen Analiz ve Yayılım Merkezi)
WEC	World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi)
Led	Işık Yayan Diyot
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization (Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı veya BM Sanayi Kalkınma Örgütü)
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
Kg	Kilogram
MWe	Mega Watt Enerji
Km ²	Kilo Metre Kare
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
MAPEG	Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
TOBB	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
PVC	Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
TL	Türk Lirası
UEVEP	Uluslararası Enerji Verimliliği Eylem Planı
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş birliği
SSL	Solid State Light
EnYS	Enerji Yönetim Sistemi
IM	İndüksiyon Motoru
PMSM	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor
ANFO	Ammonium Nitrate Fuel Oil (Amonyum Nitrat Yakıt Yağı Karışımı)
IoT	Nesnelerin İnterneti
AID	Alt Isıl Değer
Rtd	Direnç Sıcaklık Dedektörü
KHz	Kilo Hertz
Hz	Hertz
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım

CUSUM	Birikimli Toplam
Rpm	Dakika Başına Devir
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyicisi)
d	Devir Sayısı
dk	Dakika
gr	Gram
IE	International Efficiency (Motor Verimi)
VSD	Variable Speed Drive (Değişken Hız Sürücü)
EYS	Enerji Yönetim Sistemi
HPS	Yüksek Basınçlı Sodyum
Nm	Newton Metre
DOC	Diesel Oxidation Catalysts (Dizel Oksidasyon Katalizörü)
SCR	Selective Catalytic Reduction (Seçici Katalitik İndirgeme)
DPF	Diesel Particulate Filter (Dizel Partikül Filtresi)
IPxx	Ingress Protection (Giriş Koruması)
IKx	Impact Protection (Darbe Koruma)
ECE	The European Commission Eurostat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya Enerji Kullanımının 2019 Yılı İtibariyle Kaynaklara Göre Dağılımı	2
Şekil 1.2. Aralık 2023 Döneminde Günlük Bazda Yurtdışı Elektrik Ticareti.....	3
Şekil 1.3. Küresel Elektrolizör Kapasite Hedefleri	6
Şekil 1.4. Dünya Birincil Enerji Arzının Gelişimi, IEA Mevcut Politikalar Senaryosu	10
Şekil 1.5. Enerji Kullanımının 2021 Yılı Ekonomik Faaliyetlere Göre Dağılımı	13
Şekil 1.6. 2020 Yılı Tüvenan Maden Üretimleri Dağılımı	14
Şekil 1.7. Kalker Taşı.....	15
Şekil 3.1. Genel İş Akış Şeması.....	27
Şekil 3.2. Kırma, Eleme ve Geçici Stoklama Elemanları.....	28
Şekil 3.3. Enerji Analizörü.....	29
Şekil 3.4. Çok Yönlü Ölçüm Cihazı ve Problar.....	31
Şekil 3.5. Termal Kamera.....	32
Şekil 3.6. Basınçlı Hava Debimetresi	33
Şekil 3.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	34
Şekil 3.8. Pens Ampermetre.....	35
Şekil 4.1. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Standart Doğru ve Hedef Doğru Grafığı.....	40
Şekil 4.2. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Aylık Bazda Enerji Maliyetine Karşılık 2 Yıllık Üretim Miktarları	43
Şekil 4.3. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyetleri.....	44
Şekil 4.4. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafığı	44
Şekil 4.5. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafığı	45
Şekil 4.6. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafığı.....	45
Şekil 4.7. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafığı.....	46
Şekil 4.8. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi Aylık Bazda 1 Yıllık Üretim Miktarına Karşılık Enerji Maliyeti	47

Şekil 4.9. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyeti.....	47
Şekil 4.10. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Aylık Bazda Harcanan Enerjiye Karşılık 1 Yıllık Üretim Miktarları	48
Şekil 4.11. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyeti.....	48
Şekil 4.12. Kırma-Eleme-Stoklama Elemanları Yerleşim Planı	49
Şekil 4.13. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Miktarları (kW). 53	
Şekil 4.14. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Bedelleri (TL) ...	53
Şekil 4.15. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Miktarları (kW). 54	
Şekil 4.16. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Bedelleri (TL) ...	54
Şekil 4.17. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Elektrik Enerjisi 2 Yıllık CUSUM Grafiği. 55	
Şekil 4.18. Tesiste Kullanılan Titreşimli Besleyici ve Wobblere Ait Yaylar ve Kayış	56
Şekil 4.19. Metrik Ölçüm Şeridi	56
Şekil 4.20. Verniyer.....	61
Şekil 4.21. Çeneli Kırıcı Plakaları	63
Şekil 4.22. Otomasyon Ekranı Taşıma Bantları Yerleşim Şeması	65
Şekil 4.23. Otomasyon Ekranı Titreşimli Elek Yerleşim Şeması.....	71
Şekil 4.24. Pano İçi Görünüm.....	75
Şekil 4.25. Motorlara Ait Görsel.....	77
Şekil 4.26. Basınçlı Hava Motoru ve Tankı	78
Şekil 4.27. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Miktarları (lt)83	
Şekil 4.28. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Bedelleri (TL)	83
Şekil 4.29. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Miktarları (lt)84	
Şekil 4.30. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Bedelleri (TL)	84
Şekil 4.31. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Dizel Yakıt 2 Yıllık CUSUM Grafiği.....	84
Şekil 4.32. Farklı İş Makineleri Yükleme Performans Grafiği.....	88
Şekil 4.33. Ekskavatör Kazı Performans Grafiği.....	88

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi	11
Tablo 3.1. Tesis Üretim Bilgileri.	28
Tablo 3.2. Enerji Ölçüm Cihazları	28
Tablo 3.3. Enerji Analizörü Teknik Özellikleri.....	29
Tablo 3.4. Çok Yönlü Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri	31
Tablo 3.5. Termal Kamera Teknik Özellikleri	32
Tablo 3.6. Basınçlı Hava Debimetresi Teknik Özellikleri	33
Tablo 3.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü Teknik Özellikleri.....	34
Tablo 3.8. Pens Ampermetre Teknik Özellikleri.....	35
Tablo 4.1. Çeşitli Ölçüm Cihazlarına Ait Örnek Ölçüm Sonuçları	37
Tablo 4.2. Referans Değerler Tablosu	39
Tablo 4.3. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Üretim / Tüketim Verileri.....	42
Tablo 4.4. Kırma, Eleme, Stoklama Elemanları Güç Değerleri	49
Tablo 4.5. Elektrik Motorları Etiket Bilgileri	50
Tablo 4.6. Son 2 Yıla Ait Elektrik Tüketim Verileri	52
Tablo 4.7. Titreşimli Besleyici Yaylarının Ölçüm Sonuçları.....	57
Tablo 4.8. Tesiste Kullanılan Bant Konveyörlere Ait Özellikler	66
Tablo 4.9. Konveyör Bant Hızları.....	67
Tablo 4.10. Konveyör Bandı Değişim ve Onarım Değerlendirme Tablosu.....	70
Tablo 4.11. Elektrik Motorları Teknik Özellikleri	73
Tablo 4.12. Bant Konveyör Motorlarına Ait Örnek Enerji Ölçümleri.....	77
Tablo 4.13. Mevcut Motorların Premium Verimli IE3 Sınıfı Motorla Değiştirilmesi Durumu Analiz Tablosu.....	78
Tablo 4.14. Basınçlı Hava Sistemlerinde Kullanılan 15 kW' lik Bir Motorun Örnek Bir Haftalık Çalışma Enerji Ölçümü	79
Tablo 4.15. Aydınlatmada LED Değişim Analiz Tablosu	80
Tablo 4.16. Dizel Yakıt ile Çalışan Araçların Güç ve Yakıt Etiket Değerleri	81
Tablo 4.17. Son 2 Yıla Ait Dizel Yakıt Tüketim Verileri	82
Tablo 4.18. Kullanılan Dizel Motorlu Araç Güç ve Tüketim Değerleri	85
Tablo 4.19. Tesis İçi Yol Bilgileri	86
Tablo 4.20. Ekskavatör Kazı Bilgileri	87
Tablo 4.21. Farklı İş Makinelerinin Yükleme Bilgileri	87



1. GİRİŞ

Günümüzde enerji, sanayi tesislerinin sürdürülebilirliği ve rekabet gücü açısından stratejik öneme sahip temel girdilerden biri haline gelmiştir. Artan enerji maliyetleri, kaynaklara erişimde yaşanan zorluklar ve küresel iklim değişikliği ile mücadele gerekliliği, enerji verimliliğini öncelikli bir konu haline getirmiştir. Bu doğrultuda enerji yönetimi uygulamaları ve enerji etütleri, sanayi tesislerinde hem çevresel etkilerin azaltılması hem de ekonomik kazanımların artırılması için vazgeçilmez araçlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bir taş kırma tesisinde enerji tüketim profilleri analiz edilerek verimlilik potansiyelinin belirlenmesi, enerji kayıplarının tespiti ve uygulanabilir projelerin geliştirilmesidir. Özellikle taş kırma tesislerinde yoğun olarak kullanılan elektrik motorları, konveyör bantlar, kırıcı makineler, hava kompresörleri ve dizel araçlar gibi ekipmanların enerji performanslarının değerlendirilmesi bu çalışmanın temel hedefleri arasındadır. Ayrıca üretim süreçlerinde tüketilen enerjinin miktarı, yük profilleri, zaman aralıkları ve sistem verimlilikleri ayrıntılı incelenerek enerji maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çözüm önerileri sunulacaktır.

Bu kapsamda yapılan enerji etüdü çalışmaları ile aşağıdaki hedeflere ulaşılması planlanmaktadır:

- Tesisteki enerji tüketimlerinin detaylı analizinin yapılması,
- Enerji yoğun proseslerin ve enerji verimsizliklerinin belirlenmesi,
- Uygulanabilir enerji verimliliği önlemleri ve projelerinin geliştirilmesi,
- Bu projelerin teknik ve ekonomik analizlerinin yapılması,
- Enerji Yönetim Sistemi kurulumuna yönelik önerilerde bulunulması.

Çalışmanın kapsamı, taş kırma tesisinde yer alan ana üretim ve yardımcı sistemlerdeki enerji harcayan ekipmanların enerji kullanım verilerinin ölçümü, analiz edilmesi ve değerlendirilmesini içermektedir. Ayrıca bu veriler doğrultusunda enerji tasarruf potansiyeli bulunan alanların belirlenmesi ve somut verimlilik önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma sonuçlarının hem enerji maliyetlerinin azaltılması hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından katkı sağlaması beklenmektedir.

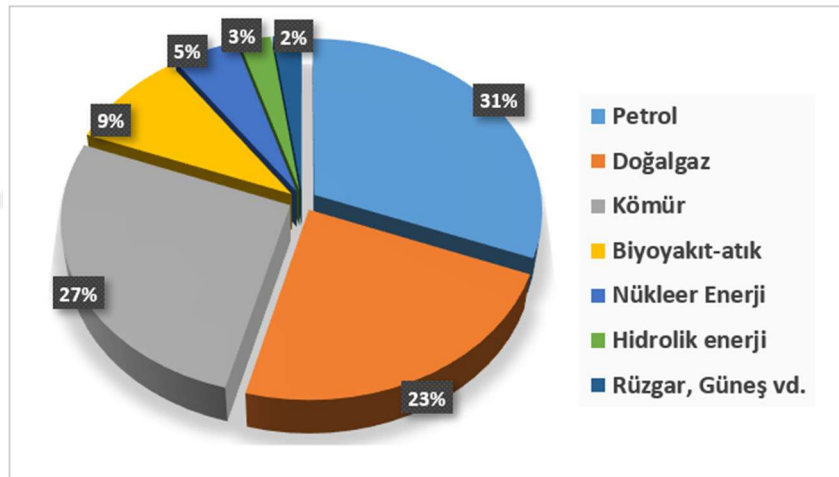
1.1. Enerji Kaynakları

Enerji kaynaklarının çeşitliliği ve bu kaynakların etkin kullanımı; toplumların yaşam kalitesini, ekonomik kalkınmayı, refahı, inovasyon ve teknolojik ilerlemeyi, endüstriyel üretimi ve çevresel sürdürülebilirlik gibi birçok konuyu doğrudan etkileyen ana unsurdur. Üretimde temel girdi olan enerji hayatımızın her alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Enerji ülkelerin ekonomik, ticari, endüstriyel, askeri, teknolojik ve sosyal yaşamlarını devam ettirmeleri için

gerekli olan temel bir girdi niteliğindedir. Bu nedenlerle, enerji arzının güvenilir, sürdürülebilir ve ekonomik olması, bir ülkenin istikrarını, büyümesini ve refahını etkileyen önemli bir faktördür. Dolayısıyla enerji yaklaşımları ve stratejileri, ulusların iç ve dış politikasında zorunlu öncelikli konulardır.

Fizikte iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, elektrik enerjisi, ısı enerjisi, nükleer enerji ve mekanik enerji (kinetik ve potansiyel) gibi değişik türlerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir.

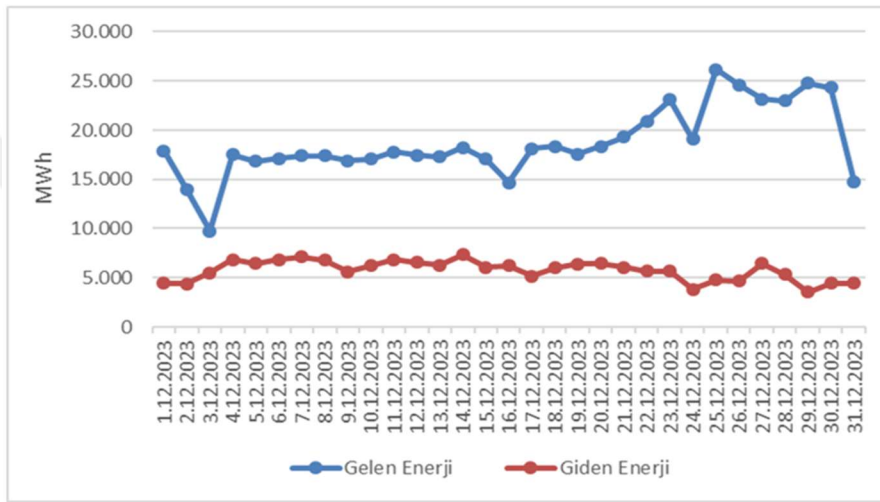
Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil, kullanımına göre ise yenilenebilir ve yenilenemez olarak sınıflandırılır. Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış, doğrudan kullanılmayan hali birincil (primer) enerji olarak bilinmektedir. Birincil enerji kaynakları, petrol, kömür, doğal gaz, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, nükleer, rüzgâr ve güneştir. Şekil 1.1’ de 2019 yılı itibarıyla dünya enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünya Enerji Kullanımının 2019 Yılı İtibarıyla Kaynaklara Göre Dağılımı (Arı ve Yılmaz, 2023).

Birincil enerjinin belirli bir dönüşümünden sonra elde edilen enerji ise ikincil (sekonder) enerji olarak tanımlanmaktadır. Elektrik, motorin, benzin, mazot, kok kömürü, sıvı petrol gazı (LPG), petrokok ve hava gazı bu tip enerji kaynaklarıdır. Günümüzde kullanılan bir diğer sınıflandırma şekli ise enerji kaynaklarının yenilenebilirliği ya da kullanım sonunda tükenip tükenmemesi gibi özellikler üzerine yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre, doğada bulunan, kullanımı ile azalmayan ve belirli bir limiti olmayan enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları; bir kez kullanıldığında ömrü biten ve yeniden oluşturulamayan sınırlı rezervli enerji kaynakları ise yenilenemez enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Güneş, hidrolik, jeotermal, rüzgâr, dalga-gelgit, biyokütle ve hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenemeyen enerji kaynakları kendi arasında çekirdek kaynaklı ve fosil kaynaklı olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Toryum ve uranyum çekirdek kaynaklı yenilenemez enerji kaynağı iken, kömür, petrol ve doğal gaz fosil kaynaklı yenilenemez enerji kaynağıdır. Yenilenemez enerji kaynaklarının uygun formdaki çeşitli tekniklerle dönüşümünde, ölçülebilir nitelikte karşımıza elektrik, manyetik, nükleer, termik, jeotermik enerji gibi enerji türleri ortaya çıkmaktadır. Bu enerji türleri doğrudan üretim sektörüne girdi sağlamak amacıyla üretildiği gibi, ihracat konusu olarak pazara sürülerek ekonomik faaliyetlere katkı sağlanabilir. Şekil 1.2' de 2023 Aralık ayı Türkiye yurtdışı elektrik ticareti görülmektedir.



Şekil 1.2. Aralık 2023 Döneminde Günlük Bazda Yurtdışı Elektrik Ticareti (MWh) (EPDK, 2023).

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kaynakların aksine sera gazı emisyonlarını azaltır, hava ve su kirliliğini önlemeye büyük ölçüde yardımcı olur. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji ve diğer yenilenebilir kaynaklar, temiz ve çevre dostu enerji üretimine olanak tanır. Sınırsız ve sürekliliği olan bu tür kaynaklar enerji güvenliğini artırmakta, enerji maliyetlerinin düşürülmesinde ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında etkin rol oynamaktadır. Doğada sınırlı ve dünya coğrafyasında dengesiz bir dağılımda olan fosil tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye, insan sağlığına olan zararları ve sera gazı emisyonlarının yanı sıra, ülkeler arası politikaların seyrine göre fiyat dengesizliği ve enerji güvensizliği gibi olumsuzluklarla karşılaşılabilir. Ayrıca yenilenemeyen kaynakların temel anlamda enerjiye dönüşümünde üretim maliyetleri de yüksek olmaktadır.

Dünya nüfusunun hızlı artışı beraberinde sanayileşme, şehirleşme, teknoloji ve üretime yönelik hamlelere bağlı olarak oluşan ihtiyacı karşılamak adına enerji üretimi ve tüketimi birbirini kovalayan bir sarmal haline gelmiştir. Bu denli artış trendinde olan tüketime paralel

üretim gerekliliği ile tükenmekte olan kaynakların alternatiflerine yönelimde ivme yakalandığı görülmektedir. Ancak günümüz koşullarında yeni enerji üretim yöntemlerinin gelişmesine rağmen birincil kaynaklar olan fosil yakıtlardan karşılanan üretim miktarı toplam içerisinde daha büyük bir yer tutmaktadır. Yenilenemeyen fosil kaynakların bu denli olumsuzluklarına karşın alternatif enerji kaynaklarından enerji üretiminde henüz istenilen seviyeye gelinememiştir. BP'nin 2020 yılı raporuna göre, 2019 yılı dünya enerji tüketiminde bir önceki yıla göre %1,3 gerileme yaşanmıştır. Bu oran 2018'deki %2,8'lik büyümeden kaynaklı olarak yorumlanmakla birlikte 2020 yılı tüketimi sanayi tarafında önemli düşüş yaşamış ancak hane tüketiminde artış meydana gelmiştir. Toplamda ise 1945'ten bu yana en yüksek düşüş seviyesi kaydedilmiş ve bir önceki yıla göre tüketimde %4,5 düşüş yaşanmıştır. Bu tüketim içerisinde kömür 2019 verilerine göre %27 ile 16 yılda en düşük seviyede tüketim oranına ulaşmıştır. Petrol %31 ve doğal gaz %23 şeklinde dağılım sergileyen fosil yakıt tüketimleri toplam tüketim içerisinde yaklaşık olarak %80'lik paya sahiptirler. Bunların yanı sıra hidrolik enerji %6,8 ve nükleer enerji %4,5 oranları ile sıralanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına alternatif olarak düşünülen ve sürekli geliştirilen yeraltı enerji kaynaklarının dünya enerji tüketimindeki oranı ise henüz %2,7 dolayında tüketimden pay almaktadırlar (BP, 2020). Enerji alanındaki gerek çevresel gerekse ekonomik, sosyal, siyasal tüm gelişmeler, ülkelerin enerji kaynaklarının yönetimi ve kullanımı konusunda stratejik yaklaşımlar geliştirmesini, yasal düzenlemeler ve politikalar ile enerji konularını daha etkin bir şekilde yönetme yoluna gitmesini sağlamaktadır.

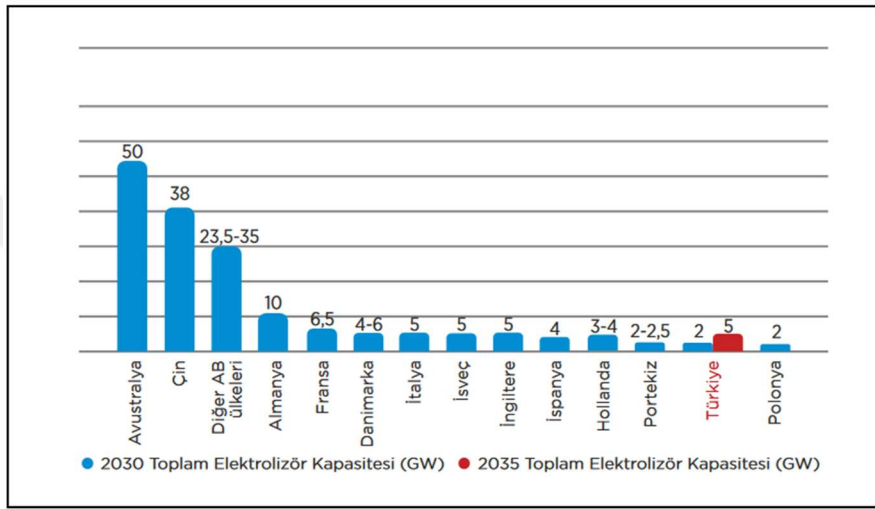
1.2. Enerji Politikaları ve Hedefleri

Enerji, insanlığın varoluşundan başlangıçla hayatın idamesi için kuşkusuz en önemli ihtiyaçlardan birisi olmuştur. Başlangıçta ısınma, pişirme ve araç-gereç yapımı gibi ihtiyaçlarla sınırlı olan enerji kullanımı, sanayi devriminden sonra önemli bir üretim girdisine dönüşmüştür. Bununla birlikte şehirleşmenin sürekli büyümesi ve insanların yaşam alanlarının büyük oranda kentlere kaymasıyla tüketim artışını karşılamaya yönelik enerjiye olan ihtiyaç da sürekli artış sergilemiştir. Bu değişimlerin neticesinde enerji, istisnasız hayatımızın her alanında kullanılan temel ihtiyaç haline dönüşmüş ve günümüz dünyasında ekonomik, sosyal, siyasal, teknolojik, askeri gibi birçok alanda var olmanın en önemli güçlerinden biri haline gelmiştir. Bu yönü itibarıyla enerji yaşamsal öneminin yanı sıra gerek ülke içi gerekse ülkeler arası dengeler ve ekonomik durum açısından belirleyici bir unsur haline almıştır. Enerji uluslararası ticaret, diplomasi ve politika üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Her ülkenin enerji hedefleri, kaynaklarına ve ihtiyaçlarına göre farklılık gösterebilir. Genel anlamda enerji politikaları; üretim, dağıtım, tüketim ve fiyatlandırma konularını düzenleyen plan ve uygulamalardır. Bu politikalar, enerji güvenliğini sağlamak, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek, ekonomik

büyüme teşvik etmek ve toplumun enerji ihtiyaçlarını karşılamak için belirlenir. Çevresel sürdürülebilirlik, enerji üretiminde çevreye zarar vermeyen ve doğal kaynakları bilinçli kullanan yöntemleri teşvik etmektedir. Bu durum fosil yakıtların azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, enerji verimliliğinin teşvik edilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi çevresel hedefleri içerir. Bu açıdan bakıldığında, Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto şehrinde düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) Taraflar Konferansı'nda kabul edilen Kyoto Protokolü, sera gazı emisyon kontrollerine yönelik ilk uluslararası ortak eylemi temsil etmektedir (Konak, 2011).

Moseley ve arkadaşlarının 'Encyclopedia of Electrochemical Power Sources' (Elektrokimyasal Güç Kaynakları Ansiklopedisi) kitabından edinilen bilgiye göre Sanayi devriminden önce, Birleşmiş Milletler tarafından kurulan uluslararası bir kuruluş olan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), yaklaşık 1000 yıl boyunca, doğal karbondioksit konsantrasyonunun yaklaşık 280 ppm' de neredeyse sabit olduğunu tahmin ediyordu; O tarihten bu yana yaklaşık %30'luk bir artış yaşandı ve yılda ortalama %0,4'lük bir büyüme oranıyla 370 ppm' ye çıktı. Bu değişim ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık artışı çoğunlukla fosil yakıtların kullanımına atfedilmektedir (Moseley ve ark., 2009). Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli' nin (IPCC) raporunda belirlenen veriler baz alınarak 2015'te imzalanan Paris İklim Anlaşması ile atmosferin ısısının 2°C ' nin altına çekilmesi, mümkünse $1,5^{\circ}\text{C}$ ile sınırlandırılması hedeflenmektedir. Eğer Paris İklim Anlaşması' nın birincil hedefi olan $1,5^{\circ}\text{C}$ sınırı tutturulamaz ise sıcaklık dalgalanmalarının özellikle nem oranının yüksek olduğu bölgelerde rekor düzeylere ulaşacağı, çok kurak bölgelerde ise daha az yükseleceği öngörülmektedir. 2050 sonrası için ise öncelikle gelişmiş ülkelerde, salımlanan sera gazı miktarının atmosferden atılan miktara eşit olduğu, "küresel net sıfır emisyon" ulaşmak hedeflenmektedir. Bu aynı zamanda iklim nötr veya karbon nötr olarak da tanımlanmaktadır (Türkeş, 2021). Ülkemiz adına enerji sektörünün toplam karbondioksit (CO_2) emisyonlarının yaklaşık %87' sinden sorumlu olduğu bilinmektedir. Bu durum, iklim değişikliği ile mücadele açısından enerji sektörünün karbonsuzlaşma sürecinin aciliyetini artırıyor. Paris iklim Anlaşmasınının 7 Ekim 2021 tarihinde Resmî Gazetede yayımlanması ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan "Türkiye Ulusal Enerji Planı" ile 2053 yılı net sıfır emisyon hedefinin açıklanmasıyla Türkiye'nin 2053 yılında karbon nötr bir seviyeye geçiş yapabilmesi için üretimde fosil yakıt tabanlı kaynakların yerine yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artırılması önem arz etmektedir. Yine Ulusal Eylem Planı doğrultusunda; suyun yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ile elektrolizi sonucu elde edilen hidrojen enerji açığa çıkarılması ve bu enerjinin doğal gaza karıştırılarak kullanılması olarak adlandırılan Yeşil

Hidrojen ile hidrojen enerjisinin ilk aşamada yerinde tüketimi ve sanayinin ihtiyacının karşılanmasına yönelik kullanımı planlanmaktadır. Mart 2022 tarihinde ise Avrupa Komisyonu üye ülkeleri 2030 yılına kadar fosil yakıtlardan bağımsız hâle gelerek 10 milyon ton yeşil hidrojen üretim ve 10 milyon ton yeşil hidrojen ithalat hedefini içeren “REPowerEU Planı” nı yayımlamıştır. (ETKB, 2023). Bu planda AB hedefleri revize edilmiş ve 2030 yılına kadar kurulu elektrolizör kapasitesinin 65-80 GW olması planlanmıştır. Bazı ülkelerin Yeşil Hidrojen hedefleri Şekil 1.3’ de görülmektedir.



Şekil 1.3. Küresel Elektrolizör Kapasite Hedefleri (ETKB, 2023).

Ulusal hidrojen stratejisine göre, Türkiye 2030’a kadar 2 gigawatt (GW), 2035’e kadar 5 GW, 2053’e kadar ise 70 GW hidrojen üretim kapasitesine ulaşmayı hedeflemektedir.

Ülkemiz coğrafi konum olarak dünya petrolü ve doğalgaz rezervlerinin yaklaşık %75’ ine sahip ülkelerin komşusu durumundadır. Ayrıca bu rezervlerin önemli pazarı olan Avrupa’ ya iletimi noktasında geçiş yolu olarak stratejik bir ayrıcalığı elinde bulundurmaktadır. Bu durum ülkemiz açısından hem fırsatlar sunmakta hem de enerji güvenliği itibariyle farklı sorumluluklar yüklemektedir. Dolayısıyla ülkemizin enerji yatırımları bir taraftan üretim odaklı iken diğer taraftan ulaştırma hatları şeklinde gelişmekte ve enerji politikaları bu hususlar göz önünde bulundurularak şekillenmektedir. Enerji konusu Türkiye-AB ilişkilerinde ön sıralarda yer almaktadır. Avrupa’nın enerji güvenliğini sağlayan bir konumda yer alan ülkemiz 2006’da “Enerji Topluluğu” na gözlemci olarak katılmıştır. Öte yandan, Türkiye ile AB arasında enerji alanında iş birliği geliştirmek amaçlı olarak kurulan “Yüksek Düzeyli Enerji Diyalogu” nun ilk toplantısı 16 Mart 2015’te Ankara’da, ikinci toplantısı da 28 Ocak 2016’da İstanbul’da düzenlenmiştir.

Sanayi, teknoloji ve toplumsal alanlarda hızla büyüyen ülkemiz için enerjiye erişim ve enerji üretimi konuları son derece önem arz etmekte ve temiz enerji alanındaki yatırımlar son yıllarda önemini giderek artırmaktadır. Bu bağlamda, enerji kaynaklarının çevresel etkileri ve tükenme tehdidinin yanı sıra ülkelerin dışa bağımlılıkları konusunda belirleyici rol oynaması da günümüz şartlarında ülkemizin enerjide temiz, düşük maliyetli üretim, tasarruf ve verimlilik çabalarının başlıca sebeplerini oluşturmaktadırlar.

1.3. Enerji Verimliliği Düzenlemeleri

Özellikle dünya nüfusundaki artış, sanayileşme ve beraberindeki teknolojik gelişmeler enerjiye olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Artan bu talebin karşılanması, hali hazırda sınırlı rezervde ve tükenme eğiliminde olan yenilenemez enerji kaynaklarının etkin ve planlı kullanılmasını; yenilenebilir enerji kaynaklarının ise daha yoğunluklu kullanılmasını ve yaygınlaştırılmasını zorunluluk haline getirmiştir. Türkiye, sınırlı kaynakları ve altyapı yetersizliği nedeniyle enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Sürdürülebilir kalkınmanın önemini giderek daha çok arttığı günümüzde, enerji verimliliğine yönelik çalışmaların değeri de aynı oranda artmaktadır. Elbette enerji maliyetlerinin düşürülmesinde yalnızca enerji üretim kapasitesinin artırılması değil, mevcut enerjinin de verimli kullanılmasının payı vardır ve bu kapsamda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” ile kamuda ve özel sektörde enerji verimliliğini yükseltmeyi amaçlamıştır. Bu sebeple tüm sektörlerde enerji verimliliğindeki artışın hızlandırılması, ulaştırmanın ve ısıtmanın elektrifikasyonu ile birlikte bunlara yönelik altyapı ve teknoloji gelişiminin ivmelendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca “5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” ve bu kanuna bağlı olarak Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürütülen "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" kapsamında, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasını, enerji tasarrufu ve çevrenin korunmasını sağlamak için, asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi, kısacası binaların enerji performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için 2011 yılında Enerji Kimlik Belgesi (EKB) zorunluluğu getirilmiştir (Anonim, 2007). 1935 yılında 2819 sayılı kanun ile kurulan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), daha sonra aynı kanun hükmünde kararname ile kaldırılmış ve yerine Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) kurulmuştur. İlgili kurum, Ülkemizin hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları öncelikli olmak üzere tüm enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ve enerjinin etkin ve verimli tüketilmesine yönelik, hidrolik, rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyellerini belirlemekte, fizibilite ve örnek uygulama projeleri hazırlamakta, tanıtım amaçlı pilot sistemler geliştirmekte, etüt,

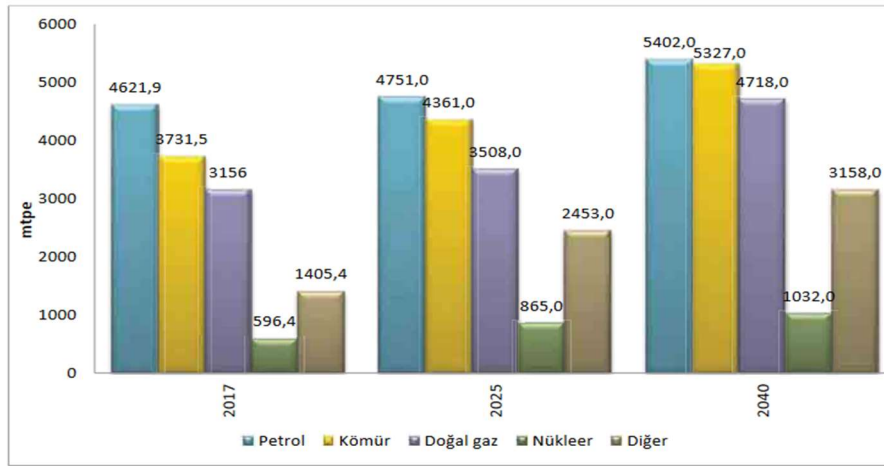
eğitim ve bilinçlendirme hizmetleri yürütmektedir. Nitekim bu düzenlemelerdeki amaç, temelde enerji verimliliği ile enerjide arz güvenliğinin sağlanması, düşük enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, dışa bağımlılıktan kaynaklı risklerin azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelenin etkinliğinin artırılması ve çevrenin korunması gibi ulusal ve stratejik hedeflerdir. Bu çerçevede; enerjinin üretimi ve iletiminden nihai tüketimine kadarki bütün aşamalarda enerji verimliliğinin geliştirilmesi, israfın ve bilinçsiz kullanımın önlenmesi, enerji yoğunluğunun gerek sektörler bazında gerekse makro düzeyde azaltılması ulusal enerji politikamızın öncelikli ve önemli bileşenlerindedir. Öte yandan, enerjinin etkin ve verimli kullanımıyla ilgili olarak; amacı, yeni enerji teknolojileri, alternatif enerji kaynakları, enerji tasarrufu ile enerji güvenliğini artırmak, araştırma geliştirme konularında katılımcı ülkeler arasında işbirliğini geliştirmek olan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA-International Energy Agency), birçok ülkede temsilcilikleri bulunan, yöneticilere, mühendislere, mimarlara ve araştırmacılara yenilenebilir enerji ve enerji tutumlu teknolojiler hakkında bilgi sağlayan uluslararası bilgi açı Enerji Teknolojilerini Destekleyen Analiz ve Yayılım Merkezi (CADET-Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies), Uluslararası Elektrik Endüstrisi Ortaklığı adı ile 1923'te kurulan; petrol, kömür, gaz, uranyum, hidro, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını ayrıca enerji verimliliği ve tasarrufunu geliştirmekten sorumlu olan Dünya Enerji Konseyi (WEC-World Energy Council) gibi kuruluşlar uluslararası enerji düzenlemelerine bazı örneklerdir.

Enerji verimliliği, gelecek yıllarda sürdürülebilir enerjinin sağlanması noktasında güçlü ve etkili bir rol oynamaktadır. Enerji verimliliğindeki çalışmalar ile enerjide altyapı yatırım ihtiyacı azaltılabilir, yakıt maliyetleri düşürülebilir, rekabet ve tüketici refahı artırılabilir. Sera gazı emisyonlarının ve bölgesel hava kirliliğinin azaltılmasıyla da çevreye olumlu etkiler elde edilebilir. Aynı zamanda ithal edilen fosil yakıtlara olan bağımlılık azalacağından enerji güvenliğine katkı sağlanabilir.

Enerji tasarrufu ve enerji verimliliği birbirinden farklı kavramlardır. Enerjiyi daha az kullanmak (tasarruf) ve enerjiyi daha akıllıca kullanmak (verimlilik) adına önemli adımlar atmak mümkündür. Enerji tasarrufu enerjinin daha az kullanılmasını sağlayan bir davranıştır. Kullanılmayan aydınlatmaların kapatılması, bilgisayar, televizyon, yazıcı gibi cihazların kullanılmadığında uyku moduna alınması veya fişten çekilmesi enerjiden tasarruf etme yollarına örnektir. Enerji verimliliği ise aynı fonksiyonu gerçekleştirmek için daha az enerjinin kullanılmasıdır. Enerji Verimliliği Kanunu'nda enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasını ifade eder.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı açıklamalarına göre, kamuda enerji tasarrufu ve verimliliği konusunda önemli çalışmalar yürütülmektedir. Sunulan hizmetin kalitesini düşürmeden, sosyal refahı olumsuz yönde etkilemeden enerji verimliliği stratejisi geliştirilmektedir. 2030 Enerji Verimliliği Stratejisi ve 2024-2030 2. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na göre 2030 yılına kadar enerji tüketiminin yüzde 16 azaltılması ve 100 milyon ton emisyon azaltımına katkıda bulunulması planlanıyor. Ayrıca, kamu binalarında 2030'a kadar yüzde 30 enerji tasarrufunun sağlanması ve 1,2 milyon sokak aydınlatmasının LED dönüşümünün de tamamlanması hedefleniyor. (ETKB, 2023). ETKB tarafından, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payının artırılmasına yönelik olarak 6094 sayılı kanun kapsamında ekonomik destek verilmektedir. Hidroelektrik üretim tesisi ile rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi için 7,3 \$cent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi için 10,5 \$cent/kWh, biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil) ile güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için 13,3 \$cent/kWh fiyat desteği sağlanmıştır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan tesislerde yerli ekipman kullanılması halinde 0,4 ile 3,5 \$cent arasında ek fiyat desteği de verilmektedir (Yapıcı, 2021). Enerji verimliliğinin uygulama alanlarından bir diğeri sanayi sektörüdür. Üretim ve endüstride uluslararası rekabet gücü açısından enerji verimliliği çok önemli bir konudur. Türk endüstrisinde enerji kaynaklarını korumaya yönelik ilk tasarı 1980'de UNIDO iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir. Örneğin 1980 yılında gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçlarına göre Türkiye'de demir-çelik, cam, alüminyum ve tekstil sektörlerinde enerji etkinliği artışı ile tasarruf edilebilecek enerji toplamı 247.000 TEP/yıldır (Yaylalı, 2009). Endüstride; çeşitli atıkların değerlendirilmesi ve geri kazanımı, ısı yalıtımı, buhar üretimi ve kullanımı, ısı ve ekonomik değeri olan içeriklerin yeniden değerlendirilmesi, kojenerasyon (ısı ve elektriğin birlikte üretimi), mümkünse üretim, işleme, taşıma sürelerinin kısaltılması, ısı, hava ve elektrikteki kaçakların önlenmesi ve eski teknolojilerin daha verimli olanı ile değiştirilmesi gibi değişkenleri enerji verimliliği sağlayıcı unsurlar olarak sayabiliriz. Öyle ki nükleer yakıtın nispeten yüksek olan enerji yoğunluğu avantajlı bir fiziki özellik olsa da katı yakıtlar için birim yakıt miktarı başına elde edilen elektrik enerjisi değerlerinin oldukça küçük sayılabileceği bilinen bir gerçektir. 1 Kg odun=1 kWh, 1 Kg kömür=3 kWh, 1 Kg petrol=4 kWh, 1 Kg uranyum=50.000 kWh, 1 Kg plütonyum=6.000.000 kWh' dir. 1000 MWe (4 üniteli Keban barajının kurulu gücü 1330 MW) gücündeki bir tesis için; 2,6 milyon ton kömür, 2 milyon ton petrol veya 27 ton uranyum yakıtına ihtiyaç duyulmaktadır. Yine 1000 MW güç için bazı enerji kaynaklarının ihtiyacı olan fiziki alan; hidroelektrik 500-1000 km², fotovoltaik 25-50 km², rüzgâr 50-150 km² (Konya'nın Yalılıyüyük ilçesinin kapladığı alan 122 km²), biyokütle 4000-6000 km², nükleer 1-4 km², fosil yakıt 1-4 km²' dir. Uluslararası Enerji Ajansı

(IEA) tarafından yapılan tahminlerde; dünya birincil enerji talebinin 2017 yılına göre yaklaşık %45,3 oranında artarak 2040 yılında 19.637 MTEP seviyesine yükseleceği, bu miktarın kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı öngörülmektedir. Mevcut durumda 2040 yılında petrolün payı %27,5 kömürün payı %27,1 doğalgazın payı %24 olacağı üzerinde durulduğu hususu ile fosil yakıtların halen enerji üretiminde başrolde olacağı durumu söz konusudur. Şekil 1.4' te Dünya Birincil Enerji Arzında kaynakların artış oranları senaryosu görülmektedir.



Şekil 1.4. Dünya Birincil Enerji Arzının Gelişimi, IEA Mevcut Politikalar Senaryosu (TKİ, 2018).

Birincil enerji kaynaklarında talebinin geleneksel fosil yakıtlar üzerinde yoğunlaştığı ve yakın gelecekte bu durumun büyük oranda değişmeyeceği herkesçe kabul görmektedir. Sosyal refahın yüksek olduğu bir hayat standardı sağlama ve sürdürülebilir enerji temini için bütün mevcut enerji alternatifleri kullanılmalı ve enerji verimli tasarımlar için çeşitli disiplinlerin koordineli biçimde çalışması sağlanmalıdır. Özellikle endüstride enerji verimliliğinin hassasiyeti göz önünde bulundurularak enerji planlaması yapılmalı, teşvikler ve tesis kurma izinleri enerji yoğunluğu değerlerini düşürmeye yönelik olarak verilmelidir. Hem bireysel hem de toplumsal düzeyde enerji verimliliğini ve tasarrufunu önemseyen bireysel en küçük faaliyetin bile, ekonomik kalkınmayı desteklemek ve çevresel etkileri azaltmak adına çok büyük bir adım olduğu bilinciyle özellikle enerjide dışa bağlı ülkemizde enerjiyi dikkatli kullanmak sürdürülebilir bir gelecek için vazgeçilmezdir.

1.4. Endüstride Enerji Etüdü

Enerji, ekonomik büyüme ve kalkınmanın temel itici gücüdür. Enerji kaynaklarına erişim, endüstriyel tesislerin büyümesini ve yeni iş alanlarının oluşturulmasını sağlar. Bu da istihdamı artırır, gelirleri artırır ve ekonomik refahı destekler. Günümüzde kişi başına gelir

düzeyleri yüksek olan ülkelerin, genellikle kişi başına enerji tüketimleri de oldukça yüksek bulunmaktadır (Saatçioğlu ve Küçükaksoy, 2004). Tablo 1.1’ de bazı ülkelerin 2013 ve 2015 yılları arasındaki dünya birincil enerji tüketim değerleri görülmektedir.

Tablo 1.1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TEP) (İsa ve Onat, 2017).

Ülke	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	2.903,9	2.970,3	3014,0	22,9	1
ABD	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3	2
Hindistan	626,0	666,2	700,5	5,3	3
Rusya	688,0	689,6	666,8	5,1	4
Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4	5
Kanada	330,5	319,9	329,0	2,5	6
Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4	7
Brezilya	290,0	297,6	292,8	2,2	8
Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1	9
İran	247,6	260,8	267,2	2,0	10
Suudi Arabistan	237,4	252,4	264,0	2,0	11
Fransa	247,4	237,5	239,0	1,8	12
Endonezya	175,0	188,3	195,6	1,5	13
Birleşik Krallık	201,4	188,9	191,2	1,5	14
Meksika	188,9	190,0	185,0	1,4	15
İtalya	155,7	146,8	151,7	1,2	16
İspanya	134,2	132,1	134,4	1,0	17
Avustralya	130,7	129,1	131,4	1,0	18
Türkiye	120,3	123,1	129,3	1,0	19
Tayland	120,3	123,4	124,9	0,9	20
Güney Afrika	124,6	122,0	122,4	0,9	21
Tayvan	109,9	111,4	110,7	0,8	22
BAE	97,2	99,0	103,9	0,8	23
Polonya	96,0	96,0	95,0	0,7	24
Ukrayna	114,7	101,6	85,1	0,6	25
TOPLAM	12.873,1	13.020,6	13.147,3	100,0	

Endüstride enerji etüdü, ürün kalitesinden, güvenlikten, çevreye olan duyarlılıktan ödün vermeden; ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı destekler nitelikte mevcut kayıpların önlenmesi ve tüketimin kontrol altına alınmasıdır. Diğer bir ifadeyle işletme üretim ve faaliyetlerini olumsuz etkilemeden verimliliği artırmak ve enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla yapılan, detaylı bir araştırma, kontrol, analiz ve denetim organizasyonu sürecidir. Bu süreç, enerji tüketim noktalarının belirlenmesi, enerji tasarrufu potansiyelinin tespiti ve uygun iyileştirme önerilerinin geliştirilmesini içerir. Sanayi tesislerinde yüksek verimli motor kullanımı, basınçlı hava sistemindeki kaçakların önlenmesi, yakma havasının ısıtılması, kondensatın kazana yollanarak geri kazanımı, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı, kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının minimuma indirilmesi, kazanlarda blöf miktarının azaltılması,

blöften ısı geri kazanımı, kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması, iç ve dış yalıtım kaplamalarının yaygınlaştırılması, sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonu, tahrik motorlarının, fan ve pompaların frekans kontrolü ile hız ayarı, boşta çalışma süresinin azaltılması, buhar sistemlerinin iyileştirilmesi, fırınlara yönelik iyileştirmeler, buhar boru sistemlerinin izolasyonları, tesislerde elektrik güç faktörünün düzeltilmesi, kaçak havanın kontrolü, aydınlatma araçlarının kontrolleri gibi konular enerji verimliliği ile ilgili tedbirlerdir. 27/10/2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmeliğe göre; Elektrik üretim faaliyeti gösteren lisans sahibi tüzel kişiler dışındaki yıllık toplam enerji tüketimleri 1000 TEP ve üzeri olan, ticaret odası veya sanayi odasına bağlı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan işletmeler ile toplam inşaat alanı 20.000 metre karenin üzerinde veya yıllık toplam enerji tüketimi 500 TEP üzerinde olan ticari ve hizmet binalarında enerji etüdü yaptırma zorunluluğu bulunmaktadır (Anonim, 2020). Bunun dışında her türlü işletme ve endüstriyel tesis isteğe bağlı enerji etüdü yaptırabilir. Endüstride enerji etüdü, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı doğrultusunda genel olarak ön etüt ve detaylı etüt şeklinde ikiye ayrılmakta ve genel aşamaları ve önemli unsurları aşağıdaki gibi uygulanmaktadır.

1.4.1. Ön enerji etüdü

İşletmede yapılan, enerji kullanımının denetlenmesi ve buna bağlı olarak tespit edilen yatırımsız veya düşük maliyetli yatırımla enerji tasarrufu sağlanabilecek noktaların tespitinde ilk aşamadır. Bu işlem kısa zamanda tesis enerji girdisinde %20' ye varan tasarruf oranı sağlayabilir. Sistemde açıkça görülen gereksiz enerji kullanımının raporlandırıldığı yüzeysel bir çalışmadır. Ön enerji etüdü hazırlanırken ilk olarak enerji tüketen birim ve ekipmanlar tespit edilir ve tüketim değerlerine göre listelenir. Buna ek olarak işletmede kullanılan enerji miktarlarının tespitini yapmak için geçmiş döneme dair faturalar incelenir ve saha çalışmaları neticesinde kullanılan enerjinin cins ve miktarı tespit edilir.

Etkili bir ön enerji etüdü beş aşamada gerçekleşir;

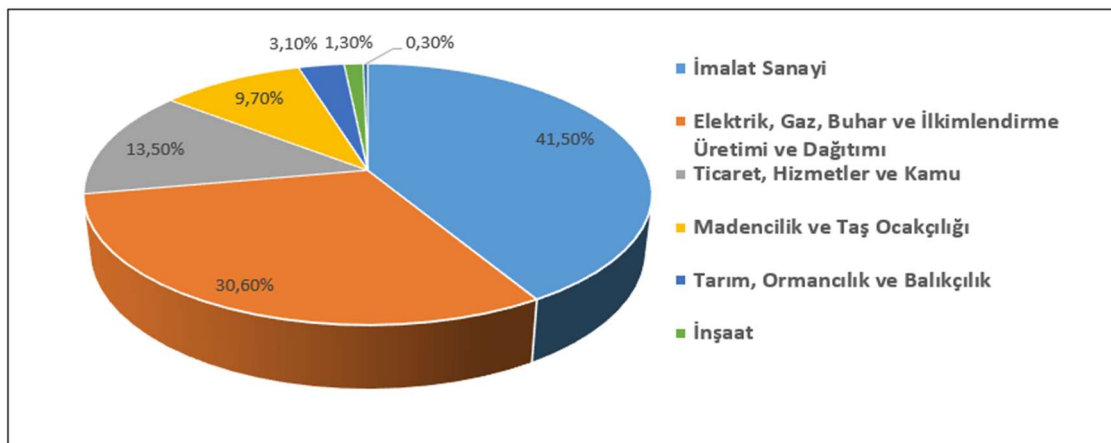
1. Belli bir formatta enerji tüketimi ve ürünlerin üretim miktarlarının belirlenmesi,
2. Enerji tüketimi yüksek olan işletme ekipmanlarının tespiti,
3. İşletmenin enerji politikalarının ve üretim planlarının incelenmesi,
4. İşletmenin enerji verimlilik ve tasarruf noktalarının artırılması için yatırım maliyeti olmayan veya yatırım maliyeti çok düşük olan tedbirlerin belirlenmesi,
5. Tesisin enerji giderlerinin kategorize edilmesi ve detaylı enerji etüdü için en fazla enerji tüketimi olan ekipmanlara ağırlık verilmesi

1.4.2. Detaylı enerji etüdü

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü' nün yayınlamış olduğu formata göre endüstriyel tesisler ve binalarda yapılan detaylı ölçümler, hesaplamalar sonucunda hazırlanan rapordur. Bina enerji etüdü veya sanayi enerji etüdü, etüt proje sertifika sahibi mühendisler tarafından hazırlanır. Detaylı enerji etüdü; Basınçlı Hava Sisteminin İncelenmesi, Kazan veya Kazanların İncelenmesi, Pompaların İncelenmesi, Fan Sisteminin İncelenmesi, Aydınlatma Ekipmanlarının Belirlenmesi, Elektrik Motorlarının İncelenmesi, Trafoların İncelenmesi, Yalıtımın İncelenmesi ve Prosesin İncelenmesi şeklinde 9 ana aşamada gerçekleşir. Sonuç olarak ön enerji etüdü ile tesisin enerji verimlilik tespit ve tasarruf noktaları belirlenirken, detaylı enerji etüdü ile yapılan ölçüm ve hesaplamalar ile sistemin gerçek enerji verimlilik potansiyeli belirlenir. Böylelikle enerji maliyetlerini düşürmek adına büyük ölçüde fayda sağlayacak olan enerji etüdü ve devamındaki iyileştirmeler, işletmelerin rekabet gücünün artması ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması ile birlikte ekonomik büyümeyi destekler.

1.5. Kırma Taş Tesisi ve Enerji

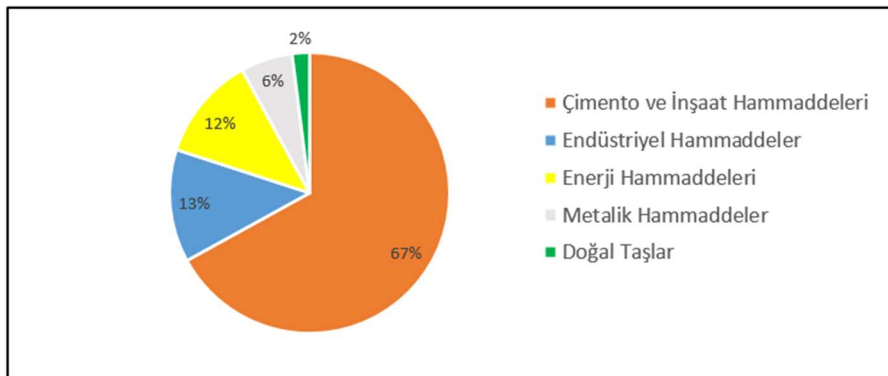
Maden sektörü enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerden biridir. Dolayısıyla sektörde enerji verimliliğinin artışı şüphesiz sektörün rekabet gücünün artırılmasının yanında enerjide dışa bağımlılığının azaltılması ve çevrenin korunmasına katkı sağlayacaktır. Şekil 1.5' te 2021 yılı itibariyle ülkemizdeki enerji kullanımının ekonomik faaliyetlere göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1.5. Enerji Kullanımının 2021 Yılı Ekonomik Faaliyetlere Göre Dağılımı (TÜİK, 2023).

Grafikte nihai enerji kullanımında en büyük payı %41,50 ile imalat sanayi almaktadır. Sektörel olarak imalat sanayini %30,6 ile elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretim/dağıtımı takip ederken, %13,5 ile ticaret ve kamu, %9,7 ile madencilik ve taş ocağı işletmeleri, %3,1 tarım ve orman, %1,3 inşaat sektörü ile %0,3 su ve kanalizasyon işleri olarak sıralanmaktadır.

Maden ürünleri, sanayi, tarım, enerji ve inşaat sektörleri başta olmak üzere tüm yatırım alanlarının hammadde veya temel girdilerini oluşturmaktadır. Ayrıca madencilik sektörü önemli bir katma değer ve istihdam oluşturma potansiyeline sahiptir. Gelişmiş ülkelerin bugün sahip oldukları teknoloji ve refah düzeyinde madencilik faaliyetleri hem ekonomik büyüme hem de sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından kilit rol oynamıştır. Örnek olarak dünya ekonomisinin lokomotifi olan ABD’de 2009 yılında maden ve madencilığe dayalı sanayilerin toplam üretimi 27,6 milyar dolar olarak gerçekleşmiş ve ABD ekonomisindeki toplam katma değeri 2,28 trilyon dolar olarak hesaplanmıştır (Bayraktar, 2021). Ülkemizde dünya çapında ticareti gerçekleştiren 90 çeşit madenden 77’ si bulunmaktadır. 50 tür madende yeterli sayılabilecek kaynağa sahip ülkemiz 27 tür maden ve mineralin rezervi anlamında ekonomik ve işletilebilirlik açısından yetersizdir. MAPEG üretim verilerine baktığımızda ülkemizde 2011 yılından günümüze ortalama 723 milyon ton seviyesinde maden üretimi yapılmakta olup 2020 verilerine göre üretimde Şekil 1.6’ da görüldüğü üzere %67 oranında çimento ve inşaat hammaddeleri pay sahibidir. Ayrıca 2011 yılından 2018 yılına kadar çimento ve inşaat hammaddelerinin toplam üretimdeki payı %70’ in üzerindeyken 2019 yılından itibaren bu değer %66’ ya gerilemiştir (ETKB ve TOBB, 2021).



Şekil 1.6. 2020 Yılı Tüvenan Maden Üretimleri Dağılımı (ETKB ve TOBB, 2021).

Maden arama ve sondaj işlemleri, enerji yoğun faaliyetlerdir. Jeofizik araştırma ekipmanları ve sondaj makineleri yüksek oranda enerji tüketir. Hem yer altı hem de açık ocak madenciliğinde, malzemenin çıkarılması büyük enerji gerektirir. Çıkarma işlemi sırasında kullanılan ekipmanların çalışması için elektrik ve yakıt gereklidir. Çalışma konusu kırma taş tesisinde çıkarılan ve başta kum, çakıl, mıcır gibi inşaat ve yol yapımı olmak üzere çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan malzeme (kalker), 3213 sayılı Maden Kanunu’nun 5. Maddesine göre 6 grupta ruhsatlandırılan madenlerden II. Grup maden grubunda yer almaktadır (Anonim, 1985). Şekil 1.7’ de Kalker taşı örneği görülmektedir.



Şekil 1.7. Kalker Taşı.

Birçok ülkede kalkerin ana kullanım sahası %40-70 oranıyla inşaat ve yapı sektörüdür. Kalker bu sektörde beton harcında agrega (mıcır) olarak ve yol yapımında agrega/dolgu malzemesi olarak kullanılır. Bu amaçla kullanılacak olan kalker; temiz, kuru, kübik formda, yüksek aşınma mukavemetine ve sertliğe sahip olmalıdır. Daha ince (75 mikron - 5 mm) gradasyonlu bazı kireçtaşı (kalker) kumları ise beton ve inşaat harcına katılır. İnşaat ve yapı endüstrisinde kullanılan yıllık agrega miktarı dünyada yaklaşık 1,5 milyar ton/yıl; Türkiye’de ise yaklaşık 180 milyon ton/yıl civarındadır. Bu değer Türkiye’deki toplam kireçtaşı üretiminin %74’üne karşılık gelmektedir. Kalkerin diğer kullanım alanları ise; çimento ve kireç üretimi, metalürji, tarım, baca gazı arıtımı, cam, soda, şeker, kâğıt, lastik-plastik, kauçuk sanayileri ve boya üretimi gibi çeşitli endüstriyel alanlardır.

Kırma taş tesisleri temelde çeşitli ekipman ve prosesler kullanarak maden sahasından çıkarılan kaya parçalarını kırmak ve ezmek suretiyle istenilen boyutta küçük parçalara ayırarak hizmete sunar. Bu tür tesislerde kırıcılar, eleme makineleri, konveyörler, yıkama üniteleri, toz bastırma ve havalandırma üniteleri, kompresör ve hidrolik sistemleri büyük miktarda elektrik tüketir. Özellikle çeneli ve konik kırıcılar yüksek güç gerektirir. Ayrıca dizel jeneratörler ve yakıtla çalışan ekipmanlar ile nakliye araçları, yükleyiciler ve sondaj makineleri yakıt tüketimi açısından önem arz etmektedir. Özellikle açık ocak madenciliğinde, patlatma işlemleri için kullanılan patlayıcıların üretiminde ve kullanımında enerji harcanır. Bunun yanında madencilik atıklarının taşınması ve depolanması da enerji gerektirir. Atıkların işlenmesi ve güvenli bir şekilde depolanması, ek enerji harcamalarına yol açar. Toplam doğal taş potansiyel varlığımızın 8-10 milyar metreküp dolayında olduğu sektörde yaklaşık 1700’ü faal 2500 kadar doğal taş ocağı, 2000’in üzerinde fabrika büyüklüğünde tesis ve 10 bine yakın küçük ve orta ölçekli atölyelerde 300 bin dolayında istihdam bulunduğu (Yüzer ve ark., 2016) düşünüldüğünde, yüksek verimli makineler ve ekipman kullanmak ve daha etkili sondaj teknikleri, gelişmiş patlatma yöntemleri, elektrik motorlarının enerji tüketimini optimize etmek üzere invertör

kullanmak, aşırı yük ve boşta çalışmayı önleyecek yük dengeleme, düzenli ekipman bakımı gibi etkenler enerji tüketimi azaltmaya büyük ölçüde fayda sağlar. Ek olarak madencilik faaliyetlerinde mümkün olduğunca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile fosil yakıt zorunluluğunun azaltılmasına ciddi katkıda bulunulabilir.

1.5.1 Besleyiciler

Besleyiciler temelde, bir sonraki ana makineye düzenli miktarda ve belirli büyüklükte malzeme akışı sağlayan sabit ya da hareketli taşıyıcı makinelerdir. Tesiste titreşimli ve wobbler besleyici olmak üzere iki ana tip besleme sistemi kullanılmaktadır. Titreşimli besleyici sistemleri toz, darbe, aşınma, gibi zorlu koşullarda çalışacak mukavemette tasarlanmaktadır. Kırıcının sürekli beslenmesi gerekliliğini karşılayacak yüksek aşınma dayanıklı ve ısıl işleme tabi tutulan tahrik konsolu sayesinde verimliliği en üst seviyededir.

Wobbler besleyicinin birincil işlevi, içine beslenen malzemeyi elemektir. Besleyicinin dönen ızgara çubukları ana kırıcıya girmesi istenilmeyen ince malzemeleri, çamuru ve atık malzemeleri sistemden tahliye ederken, daha büyük olanları kırıcıya transfer edecek şekilde aralıktır. Bu ayırma, bypass malzemelerin kırıcıya girmesini önleyerek kırma işleminin verimliliğini artırmaya yardımcı olur. Boyut küçültülmesi gereken malzemeler senkronize şekilde dönen diskli eliptik miller aracılığıyla kırıcıya doğru ilerlerken küçük parçalar daha fazla ezilmemek üzere ızgaralı yapıdan aşağı düşerek ayrılır.

1.5.2. Kırıcılar

Çeneli kırıcılar genelde kırma işlemlerinin ilk aşaması için güçlü, dayanıklı ve uzun ömürlü makineler olarak dizayn edilir. Çeneli kırıcılar, biri sabit diğeri hareketli şekilde karşılıklı iki çene plakasından oluşur. Sabit çene kırıcı gövdesine sabitlenmiş olan ve malzemenin sıkıştırılmasında mukavemet sağlayan durağan plakadır. Hareketli çene ise eksantrik shaft aracılığıyla yukarı aşağı salınım yaparak malzemeyi sabit çeneye doğru iter ve bu itme kuvvetiyle sıkıştırılan malzeme kırılır. Malzemeyi kaba kıran primer kırıcı olarak kullanılabilmelerinin yanında ayarlanabilir çene açıklığı sayesinde inceltmek için sekonder kırıcı olarak da kullanılabilirler. Primer çeneli kırıcı özellikle ocak malzemesinden mıcır elde etme ve muhtelif cevher kırma işlerinde ilk kırma birimidir.

Darbeli kırıcılar, çoğunlukla orta/küçük büyüklükte kaya veya taş parçalarını daha küçük parçalara indirgemeye yarayan kırıcı makinelerdir. Bu makinelerin temel mantığı, konveyör ya da besleme haznesi vasıtasıyla kırıcıya iletilen malzemeyi yüksek hızda darbelere maruz bırakarak parçalamaktır. Taş ocakları veya şantiyelerde darbeli kırıcılar ile taşlar etkili şekilde ufalanır. Bu sayede tanecik şekli, tanecik dağılımı ve temizliğin kullanım amacına uygun şekilde beton ve asfalt katkı maddelerine yönelik standartlarda olması sağlanır. Basınçlı

ufalamanın aksine darbeli kırıcılarda malzemeye doğrudan ezme kuvveti uygulanmaksızın darbe ve çarpmaya bağlı bölünme sağlanmaktadır.

1.5.3. Konveyörler

Konveyör; fabrika, depo, maden sahaları, havaalanı ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılan malzeme aktarım sistemidir. Belirli bir mesafe boyunca malzeme, ürün ya da yükleri bir noktadan diğer bir noktaya taşımak üzere tasarlanmış makineler veya ekipmanlardır. Özellikle üretim merkezlerinde kullanılan konveyörler hacimli veya ağır malzemelerin taşınması uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. Konveyörler, üretim hatlarında, inşaat, madencilik, imalat, depolama ve lojistik gibi çeşitli iş kollarında sistemi otomatize etmek üzere iş gücünü azaltmak, verimliliği artırmak ve taşıma işlemlerini daha hızlı hale getirmek için yaygın olarak tercih edilir. Konveyör sistemleri taşınan malzeme, kullanım amacı ve sektöre göre bant konveyör, rulo konveyör, zincirli konveyör, vidalı konveyör, titreşimli konveyör, modüler konveyör ve havalı konveyör şeklinde gruplandırılmaktadır.

1.5.4. Eleme sistemleri

İnşaat ve madenlerde eleme sistemleri, malzeme işleme ve ayrıştırma süreçlerinde önemli bir yer tutar. Farklı boyutlarda malzeme içeren bir yığının iki veya daha fazla fraksiyona ayrılması için yapılan fiziksel işleme eleme (sınıflandırma) denir. Eleme, malzemenin ayrılmak istenen boyutunun belirli bir açıklıktan geçirilmesi ile sağlanır. Böylece açıklıktan geçebilen malzeme ile geçemeyen kısım birbirinden ayrılmış olur. Eleme işleminde kullanılan makinelere elek adı verilmektedir. Elekler boyutsal sınıflandırma işlemlerinde en çok kullanılan makinelerdir. Genel kullanım olarak elekler; sabit, titreşimli ve döner elekler olmak üzere üç ana guruba ayrılmaktadırlar.

1.5.5. Elektrik motorları

Asenkron motor (endüksiyon motoru) elektrik motorlarının özellikle sanayi uygulamalarında en yaygın kullanılan türlerinden biridir. Elektrik akımının stator sargılarında manyetik alan oluşturması prensibiyle çalışırlar. Bu manyetik alan ile rotorun içinde bir akım indüklenir. Rotor stator tarafından oluşturulan manyetik alan etkisiyle harekete başlar. Ancak asenkron motorlarda rotor ile stator arasındaki manyetik alan arasında oluşan hız farkından dolayı rotor stator manyetik alanına tamamen eşit hızda dönmez. Bu nedenle rotorun hızı stator hızından bir miktar düşük olur ve bu aradaki fark kayma olarak adlandırılır. Sanayi tipi ağır uygulamalarda asenkron motor kullanımının temeli burada oluşmaktadır. Kayma oranı motorun yüküne bağlı olarak değişmektedir. Motor boşta çalışıyorsa kayma sifıra yakın iken (hiçbir zaman sifir olmaz) motor yükü arttıkça kayma da artmaktadır. Yük altında hızın düşmesi ve

kaymanın yükü döndürmek için yeterli tork oluşturacak kadar artması nedeniyle endüksiyon motorlarına da bazı durumlarda asenkron motor denilmektedir.

1.5.6. Dizel motorlar

Dizel motorlardaki kendiliğinden ateşleme özelliği, genellikle yüksek tork ve güç ile birlikte yakıt verimliliği sunmasına olanak tanır. Düşük devirlerde üretilen bu yüksek tork, dizel motorun ağır iş makineleri, otobüs, kamyon, tarım, demir yolu ve deniz taşıtları gibi güç gereksinimi olan araçlarda kullanımına uygunluk sağlar. Yüksek oranda sıkıştırma dizel motor parçalarının benzinli motora göre çok daha fazla gerilime ve zorlanmaya dayanması gerektiği gerçeğini ortaya çıkarır. Bu nedenle dizel motorların daha güçlü, ağır ve sağlam yapıda olması zorunluluğu sayesinde büyük araçlara uzun süreli hizmet vermesini sağlamaktadır.

Elektrikli araçlara yönelme ve benzinli motorların daha ekonomik, hafif üretim çalışmaları ve emisyon salınımının azaltılması hedefleri ile birlikte dizel motorlu araç üretim ivmesi her ne kadar günden güne azalsa da büyük araçlar, iş makineleri, tarım araçları, kamyon, otobüs, gemi, demir yolu taşımacılığı gibi sektörlerde dizel motorun varlığını sürdüreceği kaçınılmaz bir gerçektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Halili (2003), kırma-eleme ve taşın fiziko mekanik özellikleri üzerine yaptığı çalışmaya göre kırma-eleme tesisleri maden sektöründe üretilen cevherlerin işlenmesi, inşaat sektöründe kırmataş üretimi, (asfalt, beton, yol malzemesi vs.) için kullanılan elektro-mekanik tesislerdir. Kırma-eleme tesislerinde kırıcı makine (primer, sekonder, tersiyer kırıcılar), elek ve bant seçimi, tesis ve oluk dizaynı, bant yüksekliği ve eğimi, elek ve kırıcı kapasitesi (üretim kapasitesi), besleyici titreşimi, motor devirleri vs. taşın jeolojik, yapısal, jeomekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri göz önünde tutularak yapılmalıdır. Zira jeolojik ortama göre makine yapmak, makinaya göre taş hazırlamaktan daha kolaydır. Kaliteli ve kübik malzeme üretimi için çarptırma özellikli (malzemeyi astarlara ve birbirine çarptıran) düşey milli kırıcıların kullanılması daha uygun sonuçlar vermektedir. Kireçtaşı, kumtaşı, bazalt vb. gibi farklı kayalar için, aynı özellikte kırıcı aksesuarları kullanılmamalıdır. İmalatçı firmaların taşın teknolojik, kimyasal, petrografik, yapısal ve hidrojeolojik özelliklerine uygun aksesuar geliştirmeleri kırma-elemenin kalite ve verimliliğini arttırarak üretim maliyetini düşürecektir.

Mallı ve Gönen (2017), yaptıkları çalışmaya göre, maden işletmeleri için yüksek kapasiteli ve mesafe sınırlaması olmaksızın ideal eğimli arazi ve koşullarda da bant nakliyesinin ekonomik çözümler üretebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, bant konveyör sistemi daha esnek kapasite ve koşullara uyum sağlama avantajı sağladığından ve ayrıca kapasite artırımına gidilerek işletme ekonomisinde daha rekabetçi değerler sağladığı için maden işletmelerinde uygulanmasının rasyonel ve ekonomik olacağı öngörülmektedir. Ancak çalışmaların daha detaylandırılarak değerlendirilmesi ve uygulamalarla desteklenmesi de kaçınılmazdır. Buna yönelik olarak geleneksel kamyon nakliyesi yerine, sürekli olarak çalışan konveyör bantları ile maden ve malzemelerin taşınması alternatifine odaklanılmaktadır. Bant konveyör uygulamaları enerji tüketimini ve sera gazlarının emisyonlarını azaltacak olup çoğu durumda maliyetleri düşürecektir.

Daniyan ve arkadaşları (2014), bir malzeme taşıma ekipmanının tasarımı konusunda yaptıkları çalışmada, malzeme taşıma ekipmanları en az insan müdahalesi ile kolay, ucuz, hızlı, güvenli ve boşaltmayı kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır demişlerdir. Örneğin, ağırlık ve yükseklik açısından insan kapasitesini aşan malzemelerin kolay taşınması için bantlı konveyör sistemi kullanılabilir. Bantlı konveyör sisteminin boyut, uzunluk, kapasite, hız, rulo çapı, güç ve gerginlik, serbest aralık, tahrik ünitesinin tipi, kasnağın çapı, konumu ve düzeni, dönüş açısı ve eksen, kontrol modu, amaçlanan uygulama, taşınacak ürün ve maksimum yükleme kapasitesi açısından tasarım hesaplamaları ve hususlarının tartışıldığı çalışmada hesaplanan

değerler kullanılarak 3 serbest rulolu bir bantlı konveyör sistemi geliştirmişlerdir. Yüksek derecede otomasyon, yükleme, hareket ve boşaltma verimliliği ile hesaplanan özelliklere sahip bir PN 450 çift örgü standart kauçuk bant konveyör ile kırılmış kireç taşının yeterince taşınacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Yılmaz ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada 50 ton/saat kapasiteli kırma-eleme tesislerinin toplam elektrik tüketiminin yaklaşık 178,7 kWh/ay olduğu ve bunun 130 kWh/ay' ının kırıcılar tarafından sarf edildiği belirtmişlerdir. Besleyiciler her türden malzemeyi stoklamak için de kullanılabilir. Titreşimli besleyiciler ve bunker besleyiciler olarak ikiye ayrılmaktadır. Genellikle primer kırıcılarda titreşimli besleyiciler kullanılmaktadır. Titreşimli çerçeve, yay, vibratör, motor titreşimli cihaz ve motordan oluşan bir yapıya sahiptir. Titreşimli besleyicilerde yüksek enerji ihtiyacı dolaylı olarak gerekmektedir. Bu nedenle, tatbik edilen titreşim sisteminde, ekonomik enerji tüketimli sistem olmalıdır ve en iyi enerji tasarrufunu temin edecek yapıya sahip olan titreşimli besleyiciler seçilmelidir.

Er (2019), bir demir çelik fabrikası bünyesinde faaliyet gösteren kok fabrikasında bantlı konveyörlerdeki riskler ve iş sağlığı güvenliği üzerine yaptığı tez çalışmasına göre, endüstride işletme ekonomisine en fazla etki eden faktörlerden biri malzeme iletimidir ve bantlı konveyörler, sürekli malzeme iletiminde en elverişli sistemi oluştururlar. Ayrıca, mesafeler uzun ve kapasite büyük olursa bantlı konveyör uygun malzemenin naklinde en ekonomik çözümü sağlar ve büyük kapasitede yığılma malzemenin sürekli olarak uzun mesafelere yatay veya az meyille iletimi söz konusu olduğu zaman, genellikle bantlı konveyörler en uygun çözüm olmaktadır. Verilen bir örnekte bantlı konveyörün malzeme naklindeki sağladığı avantajları şu örnekle açıklamaktadır: M.Ö.2800 yıllarında inşa edilen Gize Piramidinin inşaatında yaklaşık olarak 100.000 işçi 30 yıl çalışmıştır. Bu piramidin hacmi kadar toprak (2.600.000 m³) bugün 3 m genişliğinde bir bantlı konveyörle 130 saatte (20.000 t/h) taşınabilirdi.

Genççakır (2013), yaptığı çalışmada bantlı konveyörlerde iletilecek olan malın cinsi, ebatları, iletim kapasitesi veya hızı, iletim yüksekliği sistemin tasarımında temel bilgiler olup verimliliği doğrudan etkilediğini ve iyi bir etkinliğin istenenlerin iyi analiz edilmesi, doğru tasarım, doğru bant seçimi ve doğru bant gerginliğiyle sağlanabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca pratikte 40 metreye kadar vidalı gergi tertibatı, üzeri durumlarda mümkünse önce kule tipi (tambura ağırlık bağlanarak gerdirme) gergi tertibatı, ona imkân yok ise bandın alt koluna sepet tertibatı (bandın alt koluna ağırlık ile gerdirme), eğer konveyör yükseklik kazanıyorsa, bu durumda da ilk tercih bandın alt kolunda gerginin uygun olduğunu uygun görmektedir. Ayrıca

20 metre ve altı durumlarda özellikle PVC bantlarda yay ile de gergi de yapılabileceğinden ve sürekli çalışan, uzun, ortam sıcaklığının değişken olduğu veya güneş tesiri altında çalışan bantlarda bir gergi sensörünün mutlaka kullanılması gerektiği ve kullanım şekillerinden bahsedilmiştir.

Çağman (2014), bir sanayi kuruluşunda detaylı bir enerji etüt çalışması gerçekleştirmiş ve analizleri sonucunda verimlilik imkanlarını belirlemiştir. Çalışmasında, basınçlı hava hatlarında yaşanan sızıntıların giderilmesi, kompresör, pompalar, mikserler, kırıcılar ve aydınlatma sistemlerindeki enerji kayıplarına yönelik ölçümler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre enerji tasarrufu sağlanabilecek alanlar belirlenerek bunlar için yatırım maliyetleri ve geri dönüşüm süreleri hesaplanmıştır. Yapılan ölçüm ve etüt sonuçlarına göre toplamda 1.774.151 kWh' lik elektrik enerjisi tasarrufu sağlayacak iyileştirme önerileri sunulmuş ve bunların yıllık bazda getirileri toplamı 391.878,00 TL olmuştur. Bu kazanım için harcanması gereken yatırım tutarı ise 781.886,00 TL, bunun geri ödeme süresi yaklaşık 1,99 yıl olarak çalışma sonuçlarında tespit edilmiştir.

Kavak (2005), çalışmasında enerji verimliliği ile Türkiye'nin elde edeceği fırsatlar ve faydalara değinmektedir. Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği hakkında yapılan çalışmalar incelenmiş ve sanayi, santraller, binalar, ulaştırma gibi sektörlerde alınabilecek tedbirlere ve bunların enerji ekonomisi açısından sağlayacağı faydalara işaret edilmiştir. Çeşitli ülkelerin enerji verimliliği çalışmalarındaki başarılı uygulamaları, verimlilik uygulamalarına öncülük eden bazı ülkelerin durumları, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gibi temel göstergeler ışığında Türkiye'nin enerji durumu, Türkiye'nin çeşitli sektörlerinde enerji verimliliği alanında yapılan çalışmalar ve yapılması gereken çalışmalar da ele alınmıştır. Ayrıca, enerji tüketimleri, enerji verimliliği, enerji yoğunluğu ve enerji kaynakları dikkate alınarak Türk sanayiinin 1995-2002 yılları arasında imalat sektöründeki genel enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu eğilimleri araştırılmış, kaynak kullanım oranları incelenmiş, Türkiye' nin imalat sanayindeki enerji tasarruf potansiyelleri finansal açıdan değerlendirilerek enerji verimliliği hususunda alınması gereken tedbirler sektörlerle göre tespit edilmeye çalışılmıştır.

Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (ETKB 2024), 2017-2023 yılları arasında 10,9 milyar ABD doları yatırım ile kümülatif olarak 23,9 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) enerji tasarrufunun ve 66,6 milyon ton CO₂ eşdeğer Emisyon azaltımın hedeflendiği I. UEVEP' nin etkin bir biçimde uygulamaya geçirilmesi ve uygulama döneminin sağlıklı bir biçimde izlenmesi amacıyla 6 aylık dönemlerde olmak üzere gelişim raporları hazırlanmış ve kamuoyu ile paylaşılmıştır. 2017- 2023 yılları arasındaki dönemde enerji verimliliğine 8,47 milyar ABD doları yatırım yapılmış ve bu sayede 24,6 MTEP

kümülatif enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yapılan yatırımlar ve sağlanan tasarruflarla 68,62 milyon ton CO₂ eşdeğer Azaltım (kümülatif) gerçekleştirilmiş ve 44.880 yeni istihdam yaratılmıştır. I. UEVEP dönemi içinde gerçekleştirilen yatırımların bundan sonra da benzer şekilde tasarruf sağlayacağı öngörüsüyle, 2033 yılına kadarki toplam parasal tasarrufun kümülatif olarak 30,2 milyar ABD Doları olması beklenmektedir. Enerji verimliliğinin parasal tasarrufun yanı sıra sağlık ve refah üzerinde etkisi sayısallaştırılamayan faydaları bulunmaktadır ve enerji verimliliğine yapılan her bir yatırımın 4 kat getirisi olduğu hesaplanmaktadır.

Enerji Verimliliği Kanunu (2007), amacı enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması olan bu kanun, enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar.

ETKB 2019-2023 Stratejik Planı (2020), planda 'Sürdürülebilir Enerji Arz Güvenliğini Sağlamak, Enerji Verimliliğini Önceliklendirmek ve Artırmak, Kurumsal ve Sektörel Kapasiteyi Güçlendirmek, Enerji ve Tabii Kaynaklarda Bölgesel ve Küresel Etkinliği Artırmak, Enerji ve Tabii Kaynaklar Alanında Teknoloji Geliştirme ve Yerlileştirme, Piyasalarda Öngörülebilirliği Artırmak ve Sürdürülebilir Madencilik ile Üretim Kapasitesini Artırmak' olmak üzere bu 7 amaca bağlı olarak 31 hedef belirlenmiş ve bu hedeflere ilişkin 113 performans göstergesi oluşturularak altı aylık periyotlarla izleme, yıllık periyotlarla değerlendirme tasarlanmıştır.

ECE (2019), Avrupa 2020 Stratejisi'nde 5 tematik alanda belirlenen 8 hedeften biri yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve enerji verimliliğinin teşviki içerikli iklim değişikliği ve enerji başlığıdır. Enerji üzerine yapılan değerlendirmelerde 2030 yılı için, yenilenebilir enerjide en az %27'lik pay ve toplam enerji tüketiminde 370 MTEP' lik miktara karşılık gelen %20'lik azalma hedeflenmektedir. Stratejik hedeflere göre; Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği önlemleri aynı zamanda enerji bağımlılığını da azaltmakta ve önümüzdeki 40 yıl içinde AB'nin enerji ithalat maliyetlerinde yılda 175 ile 320 milyar Avro arasında tasarruf sağlama potansiyeline sahip olabilme imkânı sağlamaktadır.

Yağcı (2021), yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'nin enerji ve çevre parametreleri göz önünde bulundurularak, AB üyesi ülkeler arasındaki konumunun belirlenmesi noktasından

hareketle yedi farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller, yenilenebilir enerji etkinliği, enerji üretim ve verimlilik etkinliği, enerji verimliliği etkinliği, brüt nihai enerji tüketimine göre yenilenebilir enerji etkinliği, sera gazı emisyonu etkinliği, ithalat bağımlılığı etkinliği ve elektrik fiyat etkinliğidir. Türkiye'nin AB ülkelerine göre karşılaştırmalı kesit analizi, Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Index yöntemlerinden yararlanılarak yapılmıştır. Bir ülkenin Malmquist verimlilik endeksinin 1,0'den büyük olması etkinliğinde gelişme olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda, Türkiye'nin 2017 yılına ait ortalama Malmquist endeksleri 1,058, 1, 0,990, 0,880, 0,490, 0,717, 1,248 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Türkiye'nin brüt nihai enerji tüketimine göre yenilenebilir enerji etkinliği modeli, enerji üretimi ve verimlilik etkinliği modeli ve elektrik fiyatı etkinliği modellerinde AB ülkelerine göre ilerleme gösterdiği tespit edilmiştir.

Turkey Energy Outlook (2020), sanayi sektörü, Türkiye'nin nihai enerji tüketiminin %35' ini temsil etmektedir; bu durum özellikle bazı gelişmiş ekonomilerle karşılaştırıldığında, ağır ve enerji yoğun sanayilere (demir-çelik, çimento) odaklanıldığını yansıtmaktadır. Karışımın daha katma değerli ve teknoloji odaklı sanayi sektörlerine kaydırılması muhtemelen ekonomik büyümeyi destekleyecek, Türkiye'nin emtia ithalatını azaltacak ve teknoloji ihracatını artıracaktır. Bu değişiklikler aynı zamanda Türk sanayisinin ortalama enerji yoğunluğunu da azaltmaktadır. Öte yandan dünya enerji tüketiminin 2018-2050 döneminde yaklaşık olarak %50 oranında artması beklenmektedir. Bu dönemde Ekonomik Kalkınma ve İş birliği (OECD) dışında kalan ülkelerde yaklaşık olarak %70, OECD ülkelerinde ise yaklaşık olarak %15 oranında enerji tüketiminde artış yaşanması ön görülmektedir. OECD üyesi olan Türkiye'de ise 2019-2040 döneminde enerji tüketiminin neredeyse %50 oranında artması beklenmektedir.

Öztürk ve arkadaşları (2021), tarımsal Sulamada Kullanılan Pompaj Tesislerinde Enerji Giderlerinin Belirlenmesi üzerine yaptıkları tez çalışmasına göre; En iyi tasarım uygulamaları kullanılarak elektrik motorlarının enerji verimliliği ortalama olarak %20 ile %30 oranında artırılabilir. Çoğu iyileştirmenin geri ödeme süresi 1 ile 3 yıl arasındadır. Bu durum, ayrıca küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerinde büyük bir potansiyel etki anlamına gelir. Elektrik motoru sistemleri büyük miktarda elektrik tüketir ve önemli miktarlarda enerji tasarrufu için bir fırsat sağlayabilir. Enerji giderleri, motorun kullanım ömrü boyunca toplam motor işletme maliyetlerinin %97'sinden fazlasını temsil eder. Bununla birlikte, yeni bir motorun satın alınması genellikle tüketileceği elektriğe değil, satın alma fiyatına bağlı olma eğilimindedir. Verimlilikteki küçük bir iyileşme bile önemli ölçüde enerji ve maliyet tasarrufu sağlayabilir. Daha verimli bir motor için önceden biraz daha fazla yatırım yapmak, genellikle

enerji tasarrufu olarak geri ödenir. Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, sera gazı emisyonlarını azaltır.

Uzun (2021), Endüstriyel işletmelerde enerji analizleri üzerine yaptığı çalışmada, elektrik motorlarında enerji verimliliği ile ilgili olarak, motorlardan yüksek verim elde etmek için pompa, kompresör ve fanları da birlikte ele almak gerektiğinden ayrıca, elektrik motorlarında değişken hız sürücüleri vasıtası ile yükte çalışmalarını kontrol ederek yüksek optimizasyonda çalıştırılmaları ile sağlanacak tasarruftan bahsetmiştir. Bu uygulamalar ile motorların bakım maliyeti düşebilir ve motor ömrü uzayabilir. Aktif gücün görünür güze bölünmesi ile elde edilen güç faktörü elektrik motorlar için uygun aralıklarda optimize edilmesi ile enerji tüketim kayıplarının önüne geçilebilir. Bu nedenle güç faktörünün yüksek tutulması ve kontrol edilmesi gerekir. Enerji izleme sistemleri ile kontrol edilebilecek bu veriler ışığında reaktif güç tüketiminden kaynaklı olumsuzlukların da önüne geçilebilecektir.

Yuan ve arkadaşları (2006), Otomotiv İmalatında Basınçlı Hava Kullanım Modellerinin Karar Bazlı Analizi çalışmasına göre, tüketilen toplam basınçlı havanın %60'ından azı doğrudan mal ve hizmetlere katkıda bulunur. Elektrik ve ısı enerjisi açığa çıkaran kompresörlerin büyük bir kısmı ısı enerjisi, kayıplar ve kaçaklar olarak ortama yayılmaktadır. Bu kadar yüksek bir kaybın geri kazanımı için ısı geri kazanım cihazları ile birlikte oluşan kayıplar kazançlara çevrilebilir. Kayıpların tamamının geri kazanımı mümkün olmamakla birlikte, uygun tasarım ve öğeler ile oluşan kayıpların en büyük bir kısmı geri kazanılarak enerji verimliliğinde artış sağlanabilir.

Atıcı ve arkadaşları (2011), aydınlatma, dünyadaki toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturduğundan, daha verimli aydınlatmaya yapılan büyük bir geçiş, antropojenik iklim değişikliklerinin azaltılmasına, enerji fiyatlarının ve bakım maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olabilir. Günümüzde maliyet ve enerji tüketimi açısından oldukça verimsiz olan modası geçmiş yol aydınlatma sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde armatürler, herhangi bir uzaktan kumanda veya bilgi alma seçeneği olmaksızın zamanlayıcılar ve / veya fotoseller ile kontrol edilir. Geleceğin akıllı dış mekân aydınlatma çözümleri, SSL (solid state light) kaynaklarının ve uygun iletişim teknolojilerinin bir kombinasyonunu kullanarak bu sorunların üstesinden gelmelidir. Böyle bir sistemin temel hedefleri arasında bir yandan enerji maliyetlerinde azalma, sera gazı emisyonları ve kurulum ve bakım maliyetleri yer alırken, diğer yandan verimlilik, güvenilirlik, kullanıcı ihtiyaçları, kamu güvenliği ve ölçeklenebilirlik korunmaktadır. Duyusal verilerden çıkarılan bağlamsal bilgilere dayanarak ışık kısma komutlarının otomatik olarak yürütülmesi gerektiğinden sistemin akıllı olduğu söylenir. Akıllı bir sistemin çeşitli sensörler ve aktüatörler

(otomasyon motoru) kullanarak değişikliklere tepki verdiği durumlarda çözüm tamamen otomatikleştirilebilir.

Schubert ve Kim (2005), yaptıkları çalışmaya göre, katı hal ışık (SSL) kaynaklarının vaat ettiği enerji tasarrufu ve olumlu çevresel etkilere ek olarak, özellikle katı hal kaynakları ve LED tabanlı kaynaklar; spektral, uzaysal, zamansal ve polarizasyon özelliklerinin de kontrol edilebilirliği, renk sıcaklığı gibi geleneksel kaynaklarla hayal edilemeyecek şeyleri sunar. Katı hal aydınlatma, aydınlatma için kullanılan elektriği şu anda %22 oranında azaltabilir. Her ne kadar yüksek oranda enerji tasarrufu halihazırda gerçekleşmiş olsa da örneğin ışık yayan diyotlar (LED) kullanan trafik ışıkları, akkor olanların gücünün yalnızca onda birini tüketiyor. Artan enerji tüketimine rağmen enerji tasarruflarının dengelenebileceği yönünde ciddi bir olasılık bulunmaktadır.

Byun ve arkadaşları (2013), çalışmalarında hem enerji verimliliği hem de kullanıcı memnuniyetini göz önünde bulunduran aydınlatma ürünleri olmadığı ve mevcut sistemlerin ev ve ofis binalarında başarıyla uygulanamıyor olduğu üzerinde durmuşlardır. Bu nedenle enerji verimliliği ve kullanıcı memnuniyetini göz önünde bulundurarak akıllı bir ev LED aydınlatma sistemi önermektedirler. Önerilen sistem, kullanıcının durumuna ve çevreye göre bir LED ışığı kontrol etmek için çoklu sensörler ve kablosuz iletişim teknolojisini kullanmaktadır. Ayrıca sistem hem enerji verimliliğini hem de kullanıcı memnuniyetini artırmak için minimum ışık yoğunluğu değerini otonom olarak ayarlayabilmektedir. Sistemi test merkezinde tasarlayıp uygulamış ve toplam güç tüketimini ölçerek, test merkezinin toplam güç tüketimini %21,9' a kadar azalttığı sonucuna varmışlardır.

Doğru ve arkadaşları (2021), led aydınlatma üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya göre, elektrik aydınlatmasından kaynaklanan ısı kazanımı, sıcak yaz aylarında bina soğutma yükünü de arttırmış olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma enerji tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı aydınlatma sistemlerinde LED'ler yarı iletken, diyot temelli bir ışık kaynağıdır. LED aydınlatma armatürleri, düşük enerji tüketimi ve enerjiyi verimli kullanması, sağlam ve dayanıklı olması, tasarım esnekliği sağlaması, uzun ömürlü ve küçük boyutlu olması nedeniyle ticari binaların aydınlatmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca LED armatürler de hareket sensörü teknolojileri senaryoya dâhil edilerek projenin geliştirilmesi planlanmaktadır.

İncekara (2020), ISO 50001:2018 EYS kapsamında tesislerin enerji verimliliği, tasarrufu ve buna bağlı çevresel zararları, ilgili maliyetlerinin azaltılması hedeflenerek; tesiste gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. EYS amacı; tesis içindeki enerji performansını geliştirmektir. Bunun için gerekli adımlarla sistemlerin kurulmasını sağlayarak

tesisin enerji verimliliğini, enerji kullanımını, enerji yoğunluğunu ve enerji tüketimini sürekli kontrol altında tutar. EYS ile yapılan iyileştirmelerin sonucunda endüstriyel tesisin enerji verimliliğinin artırılması, enerji verimliliğinin geliştirilmesi sağlanarak, enerji güvenliği artacaktır.

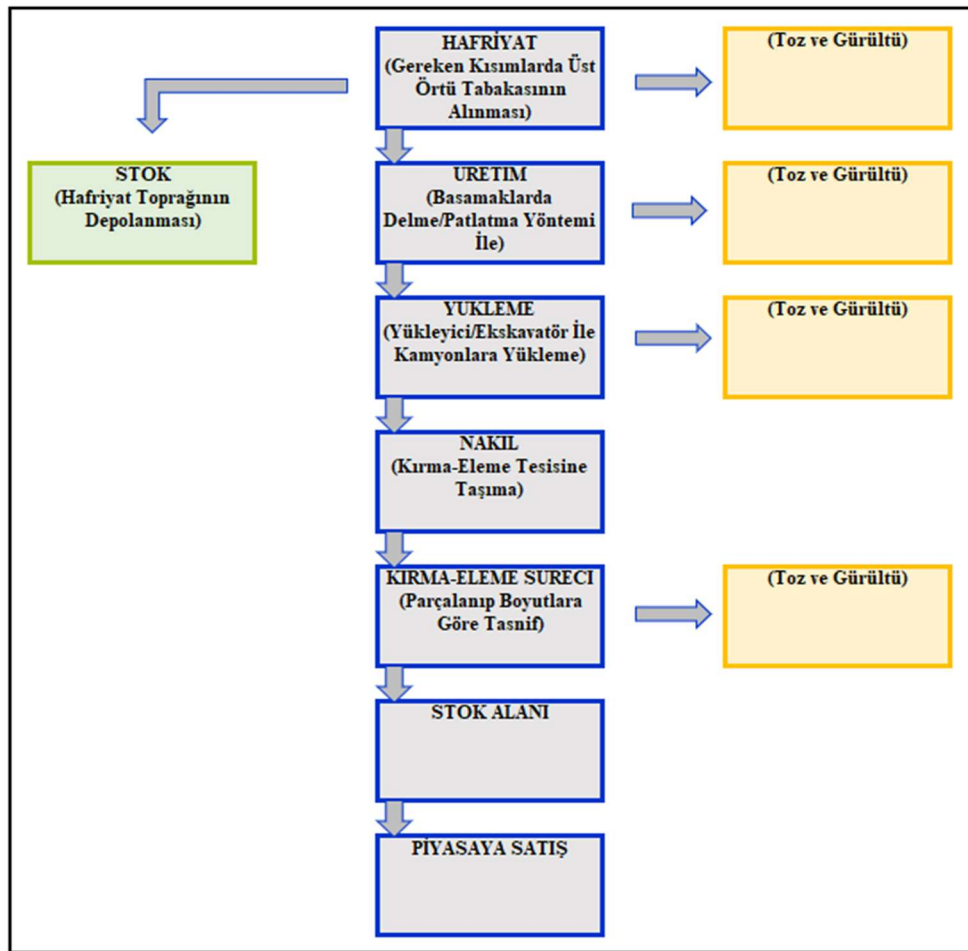
Özdağ (2023), Yapılan fırçasız üç fazlı elektrik motorları için sürücü tasarımı ve gerçekleştirilmesi çalışmasına göre, eğer tasarlanan asenkron motorun nominal bölgesi şebeke gerilimi ve frekansına göre ayarlanırsa, doğrudan şebekeye bağlanarak yapılan uygulamalarda oldukça yüksek verim elde edilebilir. Asenkron motorlar nominal bölgede verimli olarak çalışabilirler fakat düşük hız veya düşük yük durumlarında asenkron motorların verimleri ve güç faktörleri oldukça kötüdür. Tork motorları çok yüksek tork ve düşük hız gerektiren problemlerin dişli kutusu gerektirmeden çözülebilmesi için ortaya çıkartılmıştır. Bu tip motorlar, dişli kutusunu sistemden kaldırdığından sistemin verimini arttırmakta ve karmaşıklığını azaltmaktadır. Yüksek performanslı ve olabilecek en verimli sürüşü hedefleyen sürücülerde motor parametreleri genellikle haritalandırılma yöntemleri ile elde edilir. Bu tip sürücülerde mıknatıs akıları rotor sıcaklığına göre haritalanırken, D ve Q eksen stator endüktans değerleri ise motorun sargı sıcaklığına, D ve Q eksen stator akımlarının değerine göre haritalandırılmaktadır.

Sahebjam ve arkadaşları (2019), çalışmaya göre çoğu endüstriyel kullanıcı hem IM (Endüksiyon Motoru) hem de PMSM (Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor) için kullanılabilen sürücü ayarlarının değiştirilmesi konusunda hazırlıklı değildir. Çalışmalarında rotor akı yönelimine dayalı yeni bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin yenilikleri, q eksen akım döngüsünün ortadan kaldırılması ve yeni bir dinamik akım hız sınırlayıcısının kullanılmasıdır. Ayrıca, geleneksel yöntemlerden farklı olarak, önerilen kontrol yöntemi hem endüksiyon motoruna hem de sabit mıknatıslı senkron motora yalnızca küçük değişikliklerle uygulanabilmektedir. Bahsedilen avantajlara ek olarak, tork dalgalanması ve akım harmoniği azaltılır. Teorik test ve simülasyon sonuçları, sabit ve geçici durumlarda yüksek ve düşük hızlı uygulamalar için önerilen yöntemin kullanılabilirliği saptanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

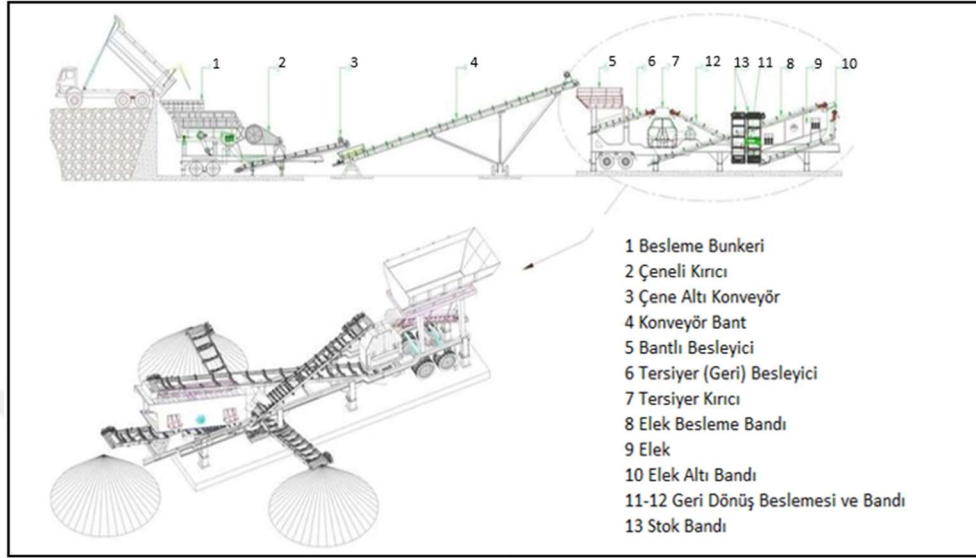
Çalışma konusu tesis, Konya İli içerisindeki bir kalker ocağı ve kırma-eleme (konkasör) tesisidir. Kalker ocağı ve kırma-eleme tesisinde 30 personel, 3 vardiya halinde günde 24 saat, ayda 24 gün ve yılda 288 gün çalışılmaktadır. Delme, patlatma veya direkt kazıcı yükleyicilerle ocaktan çıkarılarak tesise getirilen cevher; proses şekline uygun olarak farklı boyutlarda kırma işlemine tabi tutulmaktadır. Kalker ocağı ve kırma-eleme tesisine ait genel iş akış şeması Şekil 3.1' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Genel İş Akış Şeması.

50 hektarlık alanda yılda 1.000.000 ton (400.000 m³) kalkerin çıkartılarak, konkasör tesisinde işlenmesi ile ilgili olarak, maden ocağı sahasında açık ocak basamak yöntemiyle madencilik yapılmaktadır. Kırma işleminin yapılması için 200 ton/saat kapasiteli konkasör tesisi 130 ton/saat kapasite ile kullanılmaktadır ve kırma işlemi kontrollü olarak

gerçekleştirilmektedir. Kırma, eleme ve stoklama elemanlarının yerleşim planı Şekil 3.2’ de verilmiştir. Ayrıca, tesise ait saatlik/günlük/aylık/yıllık üretim miktarları ve çalışma süreleri de Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kırma, Eleme ve Geçici Stoklama Elemanları.

Tablo 3.1. Tesis Üretim Bilgileri.

	Kalker Ocağı	Kırma-Eleme Tesisi
Saatlik Üretim	144,67 ton/saat	130,2 ton/saat
Günlük Üretim	3.472,22 ton/gün	3125 ton/gün
Aylık Üretim	83.333,28 ton/ay	74999,95 ton/ay
Yıllık Üretim	1.000.000 ton/yıl	900.000 ton/yıl
Günlük Çalışma Süresi	24 saat/gün	24 saat/gün
Aylık Çalışma Süresi	24 gün/ay	24 gün/ay
Yıllık Çalışma Süresi	288 gün/yıl	288 gün/yıl
Vardiya Sayısı	3	3

3.2. Yöntem

Tesiste elektrik enerjisi ile faaliyet gösteren makine, motor, tesisat ve yardımcı elemanların enerji ölçümlerinde kullanılan cihaz bilgileri Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2. Enerji Ölçüm Cihazları

Cihaz Adı	Marka	Model	Kullanım Alanı
Enerji Analizörü	Powerlogic	ION7400	Elektrik Ölçümü
Yüzey Sıcaklık Probu	Testo Sensor	440 DP	Sıcaklık Ölçümleri
Termal Kamera	Bosch	GTC 400 C	Yüzey Sıcaklık Ölçümleri
Basıncılı Hava Debimetresi	CS Instruments	VA 521	Basıncılı Hava Debi Ölçümü
Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	Testo Sensor	LD Pro	Basıncılı Hava Cihazları
Pens Ampermetre	Schneider	IMT23114	Elektrik Ölçümü

3.2.1. Enerji analizörü

Başta enerji tüketimi olmak üzere; akım, gerilim, güç, enerji, frekans ve güç kalitesi parametrelerinin ölçümleri ile harmonik analiz, geçici olaylar ve güç kalitesi sorunlarının izlemesi yapılmıştır. Enerji analizörünün görseli Şekil 3.3' te ve cihazın teknik özellikleri Tablo 3.3' te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Enerji Analizörü

Tablo 3.3. Enerji Analizörü Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Güç Kalitesi Analizi	e uygun EN 50160: 2010 şikayet raporu 'e uygun IEEE 519: 2014 şikayet raporu 'e uygun IEC 61000-4-30: S sınıfı güç kalitesi ölçümü 63. harmoniğe kadar harmonik bozulma dalga biçimi yakalama gerilim düşüşü ve artışı tespit etme programlanabilirlik (mantıksal ve matematiksel fonksiyonlar) 'e uygun IEC 62586 güç kalitesi izleme 'e uygun IEC 61000-4-15 kesinti yönünün tespiti rapid voltage change
Cihaz Uygulaması	Gelir faturası WAGES ölçümü Veri toplama Güç izleme
Ölçüm Tipi	Akım Gerilim Frekans Aktif ve reaktif güç toplam Görünen güç toplam Güç faktörü toplam Aktif ve reaktif güç faz başına, rms Görünen güç faz başına, rms Güç faktörü faz başına, rms Aktif ve reaktif enerji Görünen enerji
Supply Voltage	90...415 V AC 45...65 Hz +/- 10 % 110...415 V DC +/- 10 %

Şebeke Frekansı	50 Hz 60 Hz
Nominal Akım (Ir)	10 A 5 A 1 A
Kutup Tanımı	1P + N 3P 3P + N
VA Cinsinden Güç Tüketimi	18 VA -de 415 V AC
Ekran Tipi	Renkli TFT LCD
Ekran Çözünürlüğü	320 x 240 pixels QVGA
Örnekleme Hızı	Döngü başına 256 örnek
Ölçüm Akımı	50...10000 mA
Analog Giriş Tipi	Gerilim (impedance 5 MOhm) Akım (impedance 0,3 mOhm)
Ölçüm Gerilimi	57...400 V AC 42...69 Hz faz ve nötr arasında 100...690 V AC 42...69 Hz fazlar arasında
Frekans Aralığı	42...69 Hz
Giriş Sayısı	3 dijital 30 V AC 3 dijital 60 V DC
Ölçüm Doğruluğu	Akım +/- %0,1 Gerilim +/- %0,1 Aktif enerji +/- %0,2
Elektromanyetik Uyumluluk	Elektrostatik deşarj conforming to IEC 61000-4-2 Yayılmalı, radyo frekansı elektromanyetik alan bağışıklık testi conforming to IEC 61000-4-3 Elektrik hızlı geçici/patlama bağışıklık testi conforming to IEC 61000-4-4 Kesinti bağışıklık testi conforming to IEC 61000-4-5 İletimli RF kesintileri conforming to IEC 61000-4-6 Güç frekansındaki manyetik alan conforming to IEC 61000-4-8 Gerilim düşüşleri ve kesintileri bağışıklık testi conforming to IEC 61000-4-11 Darbe dalgalarına bağışıklık conforming to IEC 61000-4-12 İletimli ve yayılmalı emisyonlar conforming to EN 55022 İletimli ve yayılmalı emisyonlar conforming to EN 55011 İletimli ve yayılmalı emisyonlar conforming to FCC kısım 15 İletimli ve yayılmalı emisyonlar conforming to ICES-003 İletimli RF kesintileri (2...150 Hz) conforming to CLC/TR 50579 Dalgalanma dayanımı conforming to IEEE C37.90.1
Haberleşme Protoklü	Modbus RTU -de 115 kbaud - 2 telli ION -de 115 kbaud - 2 telli DNP3, IEC 61850, Modbus TCP/IP Ethernet Modbus TCP/IP Zincir Bağlantı -de 10, 100 Mbit/sn RSTP 801.1d 2004 Ansi C12.19 DLMS

3.2.2. Yüzey sıcaklık probu

Termokupl ve RTD Teknolojisi; termokupl (K tipi, J tipi vb.) veya RTD (Direnç Sıcaklık Dedektörü) teknolojisi ile çalışan çok yönlü ölçüm cihazı ve bağlı yüzey sıcaklık probu

ile elektrik panolarının, iletkenlerin, iletim hatlarının sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Cihaza ait görsel Şekil 3.4’ te ve cihazın teknik özellikleri Tablo 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çok Yönlü Ölçüm Cihazı ve Problar

Tablo 3.4. Çok Yönlü Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Ağırlık	250 g
Boyut	154 x 65 x 32 mm
Çalışma Sıcaklığı	-20 ... +50 °C
Bağlanabilir Problar	1 x kablolu dijital prob veya 1 x Sıcaklık NTC TUC, 1 x dijital Bluetooth® prob veya testo Akıllı Prob, 1 x Sıcaklık TC Tip K
Saklama Sıcaklığı	-20 ... +50 °C
K Tipi Ölçüm Aralığı	-200 ... +1370 °C
K Tipi Doğruluk	±(0,3 °C + 0,3 % ölç.değ.)
RTD Tipi Ölçüm Aralığı	-40 ... +150 °C
RTD Tipi 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)
Prob Bağlantı Çapı	100 mm
Batarya Ömrü	60 h

3.2.3. Termal kamera

Isı kayıplarını tespit etmek amacıyla, kırıcılar, motorlar, konveyör bantları gibi makinelerin ve ekipmanların yüzey sıcaklığı ve bağlı motorlar ile elektrik panoları, sigortalar, kablolar ve diğer elektrik bileşenlerinin sıcaklıkları izlenmiştir. Ayrıca rulmanların ve dişlilerin sıcaklığını izleyerek, sürtünme nedeniyle oluşabilecek aşırı ısınma durumları tespit edilmiştir. Cihazın görseli Şekil 3.5’ te ve cihazın teknik özellikleri Tablo 3.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Termal Kamera

Tablo 3.5. Termal Kamera Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Akü Gerilimi	12 Volt
Sıcaklık Ölçme Aralığı	-10 °C ile +400 °C arası
Ölçüm Hassasiyeti	± 3,0 °C (kullanıma sapması hariç)
Ağırlığı	0,54 kg
Desteklenen Cihazlar	Android 6.0 ve iOS 11 veya üzeri
Termik Hassasiyet (NETD)	≤ 50 mk
Çözünürlük	0,1 °C
Veri Aktarımı	Wi-Fi, USB-C™
Resim Hafızası	500 Adet
Büyük IR Sensörü	160 x 120 px
Ölçüm Noktaları Sayısı	19.200
Görüş Alanı	53 x 43 °
Büyük Ekran	3,5"
Hedef Uzaklığı (min.)	0,3 m
Koruma Sınıfı	IP53 (akü grubu hariç)

3.2.4. Basınçlı hava debimetresi

Basınçlı hava sistemlerinin kullanıldığı birimlerde hava tüketimini izleyerek gereksiz enerji harcamalarını tespit etmek ve debi düşüşleri ya da anormal debi artışları olması durumunda sistemdeki bileşenlerin ne zaman bakıma ihtiyaç duyduğunu anlamaya yardımcı olmak üzere kullanılmıştır. Cihazın görseli Şekil 3.6' da ve teknik özellikleri Tablo 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Basıncılı Hava Debimetresi

Tablo 3.6. Basıncılı Hava Debimetresi Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Max. Basınç	40 bar
Max. Sıcaklık	80 °C
Hat çapı	1/2" DN 50 arası
Ölçüm aralığı	1:1000'e kadar
Ölçüm bloğu	DN 15 DN20 DN25 DN 32 DN40 DN50
Diş	G 1/2" G 3/4" G 1" G 1 1/4" G 1 1/2" G 2"
Ölçüm aralığı son değerleri	m ³ /h 90 m ³ /h 170 m ³ /h 290 m ³ /h 530 m ³ /h 730 m ³ /h 1195 m ³ /h cfm 50 100 170 310 430 700
Gaz Türü	E1 Basıncılı Hava E2 Azot (N ₂) E3 Argon (Ar) E4 Karbondioksit (CO ₂) E5 Oksijen (O ₂) E6 Protoksit (N ₂ O) E7 Doğalgaz (NG) E90 Diğer E91 Karışım
Sensör	Termal kütle akış sensörü
Doğruluk	± %1,5 ö.d. ± %0,3 s.d. istek üzerine: ± %1 ö.d. ± %0,3 s.d.
Dijital Çıkış	RS 485 arabirimi, (Modbus-RTU), opsiyonel M-Bus, Ethernet arabirimi veya PoE
Analog Çıkış	4...20 mA, m ³ /h veya l/min için

İmpuls Çıkışı	m ³ veya litre başına galvanik olarak izole edilmiş başına 1 impuls. İmpuls değeri ekranda ayarlanabilir. Alternatif olarak, impuls çıkışı alarm olarak kullanılabilir
Besleme	18...36 VDC, 5 W
Yük	< 500 Ω

3.2.5. Ultrasonik sızıntı dedektörü

Basıncı havanın taşındığı boru hatlarında oluşabilecek sızıntıların, olası kayıp ve kaçakların ölçümleri için kullanılmıştır. Cihazın görseli Şekil 3.7' de ve cihazın teknik özellikleri Tablo 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü

Tablo 3.7. Ultrasonik Sızıntı Dedektörü Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Çalışma frekansı	40 kHz ±2 kHz
Bağlantılar	Kulaklıklar için 3,5 mm jak fişi, harici şarj cihazını bağlamak için ana ünite soketi
Lazer Dalga Boyu	645 ila 660 nm Çıkış gücü: < 1 mW (lazer sınıfı 2)
Ekran	3,5" dokunmatik
Arayüz	USB arayüzü
Veri Kaydı	2 GB SD hafıza kartı

Çalışma Süresi	Sürekli çalışmada 9 saat
Şarj Süresi	Yaklaşık. 4 saat (dahili Li-ion şarj edilebilir)
Çalışma Sıcaklığı	0 - 50°C
Depolama Sıcaklığı	-10 ila +50°C
Standart	Sınıf 1 gereksinimlerini karşılar “Standart Test Yöntemi”nin araçları Ultrasonik Kullanılarak Sızıntıların Önlenmesi” standardı (ASTM Uluslararası - E1002-05).
EMC	EMC DIN EN 61326
Hassasiyet	Min.: 6 barda 0,1 l/dak, 5m mesafede, yaklaşık. 1 EUR/yıl basınçlı hava maliyeti

3.2.6. Pens ampermetre

Elektrik panolarında, tesisatlarda ve devrelerde akım/gerilim ölçümlerinde, makine ve ekipmanların elektrik akımlarını izlemek, motor akımlarını test etmek amaçlı için kullanıldı. Cihazın görseli Şekil 3.8’ de ve teknik özellikleri Tablo 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Pens Ampermetre

Tablo 3.8. Pens Ampermetre Teknik Özellikleri

Özellik	Açıklama
Seri	Thorsman
Ürün ya da bileşen tipi	Testmeter
Besleme	2 pil 3 V
Ayarın Tipi	Automatic reset

Signaling function	High precision measuring Audible continuity Tactile barrier for safety Data hold function
Ölçümün Tipi	Gerilim DC: 200mV/2/20/200/600 V Resistance: 200 Ohm/2/20/200 kOhm/20 Mohm Gerilim AC: 2/20/200/600 V Akım AC: 2/20/200/600 A Continuity: < 30 Ohm Diode check: 1.5 V
Ölçüm Kategorisi	Kategori III 600 V
Kullanıcı Dili	Fince İsveççe Danca Norveççe İngilizce
Standart	IEC 61010

4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

4.1. Enerji Tasarruf Hedeflerinin Belirlenmesi

Tesiste yoğun miktarda enerji tüketen ve enerji performansının iyileştirilmesiyle önemli ölçüde tasarruf miktarı sağlanabilecek ekipmanların enerji tüketimleri detaylı incelenmiştir. 1 adet çeneli kırıcı, 2 adet sekonder darbeleri kırıcı, 2 adet tersiyer darbeleri kırıcı, 2 adet titreşimli besleyici, 1 adet wobblers, 5 adet deşarj bandı, toplamları 6 adet bant konveyör, 4 adet sarsak besleyici, 5 adet titreşimli elekten oluşan kırma, eleme ve stoklama elemanlarının çalışmasını sağlayan değişik güç ve etiket değerlerindeki elektrik motorları ile saha aydınlatmasında kullanılan 8 adet LED projektör ve kayaç delme işlemlerinde kullanılan 3 adet delme rockunun ölçümlerinde enerji analizörü, yüzey sıcaklık probu, termal kamera, basınçlı hava debimetresi, ultrasonik sızıntı dedektörü ile pens ampermetre kullanılmış ve ölçüm sonuçları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çeşitli Ölçüm Cihazlarına Ait Örnek Ölçüm Sonuçları

Saat Aralığı	Kompresör 1 Enerji Tüketimi (kWh)	Kompresör 2 Enerji Tüketimi (kWh)	Toplam Enerji (kWh)	Hava Üretimi (m ³)	Özgül Enerji Tüketimi (j/kg)	Ölçüm Cihazı	
08:00–09:00	12	10,5	22,5	170	0,132352941	Debimetre, ultrasonik dedektör	
09:00–10:00	13,2	12,8	26	197	0,131979695	Debimetre, ultrasonik dedektör	
10:00–11:00	14,5	13,9	28,4	215	0,132093023	Debimetre, ultrasonik dedektör	
11:00–12:00	13	12	25	190	0,131578947	Debimetre, ultrasonik dedektör	
12:00–13:00	10	11,5	21,5	166	0,129518072	Debimetre, ultrasonik dedektör	
Bant Konveyör Motor 1	Bant Konveyör Motor 2	Bant Konveyör Motor 3	Bant Konveyör Motor 4	Bant Konveyör Motor 5	Bant Konveyör Motor 6	Enerji analizörü, pens ampermetre	
R Fazı (kW)	2,28	4,08	2,6	2,48	2,5	3,8	Enerji analizörü, pens ampermetre
S Fazı (kW)	2,68	3,24	3,16	3,3	2,26	2,26	Enerji analizörü, pens ampermetre
T Fazı (kW)	2,9	2,4	2,48	2,84	2,6	2,6	Enerji analizörü, pens ampermetre

Toplam (kW)	7,86	9,72	8,24	8,62	7,36	8,66	Enerji analizörü, pens ampermetre
Ekipman Tipi	Ölçüm Noktası	Ölçüm Yöntemi	Ölçülen Sıcaklık (°C)	Kritik Sıcaklık (°C)	Açıklama / Notlar		Yüzeysel Sıcaklık
Elektrik Panosu	Bara bağlantı noktası	Termal Kamera	42	> 60	Gevşek bağlantı varsa sıcaklık hızla artar.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Elektrik Panosu	Kontaktör yüzeyi	Termal Kamera	38	> 55	Aşırı yüklenme varsa sıcaklık yükselir.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Elektrik Panosu	Sigorta bağlantı noktası	Yüzeysel Sıcaklık Probu	38	> 55	Aşırı akım veya temas direnci yüksekse sıcaklık artar.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Elektrik Motoru	Gövde (stator)	Termal Kamera	64	> 90	Sürekli çalışmada gövde ısınması normaldir.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Elektrik Motoru	Rulman yatakları	Yüzeysel Sıcaklık Probu	58	> 75	Yetersiz yağlama veya aşınma varsa ısı artar.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Elektrik Motoru	Kablo bağlantı kutusu	Termal Kamera	48	> 65	Gevşek bağlantı veya kablo hasarı olabilir.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Redüktörlü Motor	Redüktör yüzeyi	Termal Kamera	62	> 80	Yetersiz yağlama kontrol edilmelidir.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera
Konveyör Motoru	Motor gövdesi ve bağlantılar	Termal Kamera	58	> 90	Aşırı yükleme varsa sıcaklık hızla artar.		Yüzeysel sıcaklık probu, termal kamera

Enerji etüdü ile tesis bileşenlerinin idealde ne kadar enerji tüketmesi gerektiği saptanmıştır. Tespit edilen, gereksiz sarfiyata neden olan noktalar, bu noktalarda ne kadar kayıp gerçekleştiği ve bu kaybın önlenmesi veya geri dönüşü için gerekli yatırım ihtiyaçları ve fiyat bilgileri konusunda aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

- Besleyici, kırıcı, bant konveyör ve elek gibi sistemlerde kullanılan kayış, kasnak, dişli, rulman, tambur, yay gibi hareketli veya sürekli aşınmaya maruz kalan parçaların yıpranma durumuna bağlı olarak belirlenen sürelerde değişimi ile ilgili parçaların filtre ve yağ bakımlarının yine belirlenen sürelerde yapılması,

- Yıpranan konveyör bantlarında ilk aşamada değişim yerine mümkün olduğu durumlarda onarım yoluna gidilmesi,

- Şu an acil gereksinim olmamakla birlikte tam zamanlı çalışan tüm motorların IE3 verim sınıfı motorlar ile değiştirilmesi durumunda yıllık 1.374.750,00 TL tasarruf ile 33 aylık amortisman süresinde geri dönüşün sağlanacağı,

- Elektrik sistemlerinde harmonik ölçümünün yapılmadığı tespit edilmiş ve sisteme bağlı kompanzasyon kondansatörlerinin önüne antiharmonik reaktör bağlanması,

- Aydınlatmada T5 Floresan armatürlerin Led aydınlatmaya dönüşümü ile yıllık 23.734,80 TL tasarruf sağlanacağı,

- Dizel araçlarda telemetri ve IoT sistemlerinin kullanılmasının yakıt tüketimlerini ve enerji performanslarını takip etmek üzere etkin rol oynayacağı,

- Dizel araçların ısınma süresini hızlandırmak için katkı maddesi kullanılması durumunda yıllık 774.010,00 TL tasarruf sağlanacağı gibi tespitlerde bulunulmuştur.

Tespit edilen konulara bağlı olarak iyileştirici projeler değerlendirilmiş, ekonomik analizler ve amortisman süreleri belirlenmiştir. Ayrıca hem finansal hem de çevresel açıdan uluslararası ISO 50001 enerji yönetim sistemi kapsamında Enerji Yönetim Sistemi' nin gerekliliği ve sağlayacağı faydalar göz önünde bulundurulmuştur.

Enerji kaynaklarının alt ısı değerleri ve petrol eşdeğerine çevrim katsayıları, enerji verimliliği ve tüketimi hesaplamalarında önemli bir role sahiptir. Bu değerler, farklı enerji türlerinin birbirine kıyaslanmasını ve toplam enerji tüketiminin daha anlaşılır hale getirilmesini sağlar. Alt ısı değer (AID), bir yakıtın yanma sürecinde açığa çıkan enerji miktarını ifade eder. Petrol eşdeğerine çevrim katsayıları ise, farklı enerji kaynaklarının enerji içeriklerini karşılaştırmak için kullanılır. Çalışmada referans olarak, kullanılan enerji kaynaklarının alt ısı değerleri ve petrol eşdeğerine çevrim katsayıları tablosu kullanılmıştır. Ayrıca 01.08.2024 tarihi saat 14:00 Merkez Bankası Döviz Kuru esas alınmıştır. Referans değerler Tablo 4.2' de verilmiştir.

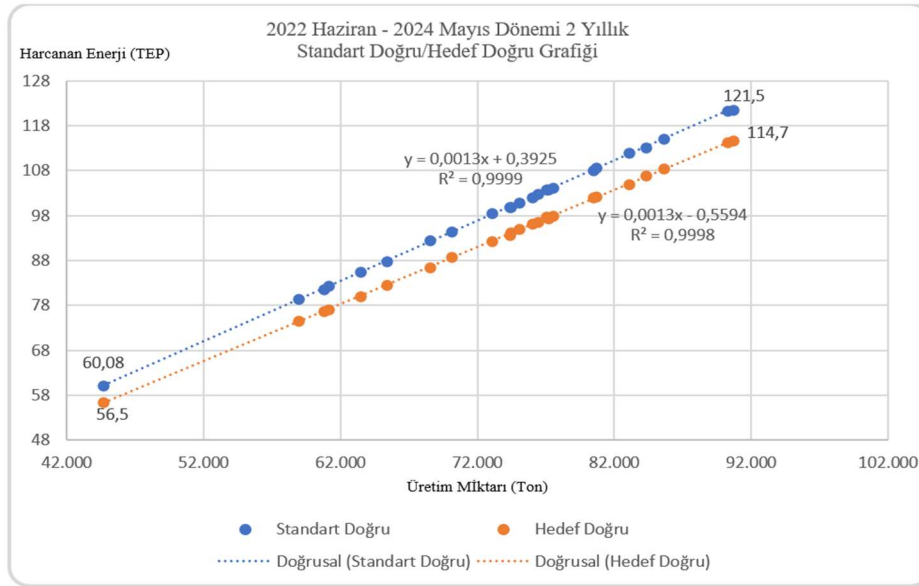
Tablo 4.2. Referans Değerler Tablosu

Parametre	Değer
1 TEP	10.000.000 kCal
1 kWh Elektrik	860 kCal (Alt Isıl Değer)
1 kg Mazot	10.200 kCal (Alt Isıl Değer)
1 kWh Elektrik	860 kCal (Üst Isıl Değer)
1 kg Mazot	10.800 kCal (Üst Isıl Değer)
1 kg Mazot	12,25 kWh
1 USD	33,13 TL
1 EUR	35,76 TL

4.2. Hedef Doğru Denklemi

İşletmelerde enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi amacıyla aylık elde edilen 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

denklemleri 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). Tesisin aylık üretimi ile toplam enerji tüketimi göz önüne alınarak yapılan geçmiş performansa bağlı hesaplama yöntemine göre üretim ve enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 2 yıllık üretim / tüketim değerlerine göre oluşturulan standart doğru ve hedef doğru grafiği Şekil 4.1’ de verilmiştir. Şekilde görülen standart denklemin doğrusal eğrisi altında kalan alan tesisçe hedeflenen bölgeyi işaret etmektedir. Burada hedef doğru standart doğruya paralel ancak yaklaşık %6 kadar sapma ile aşağıda seyretmektedir. İşletmenin standart denklemi $y=0,0013x+0,3925$ iken hedef denklemi $y=0,0013x-0,5594$ şeklinde oluşmaktadır. Şekil 3.9 incelendiğinde tesisin standart denklemi ile hedef denklemi arasında; $(60,08-56,5) / 60,08 = 0,05$ (%5) ve $(121,5-114,7) / 121,5 = 0,05$ (%5) civarında bir oynama bulunmaktadır. Bu da işletmenin kısa vadeli planlama yaparken herhangi bir ek yatırım yapmadan, kendi imkanları ile ortalama %5 civarında enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.1. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Standart Doğru ve Hedef Doğru Grafiği.

4.3. Enerji Tüketimlerinin Belirlenmesi

Tesiste 2022 Haziran – 2024 Mayıs ayları arasında 1.769.012 ton üretime karşılık 14.100.825,61 kWh (1.212,67 TEP) elektrik tüketimi ile 1.346.112 lt (1.166,96 TEP) dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Toplam 2.379,63 TEP enerji tüketiminin bu 2 yıllık süreçteki maliyeti 95.208.069,60 TL olmuştur.

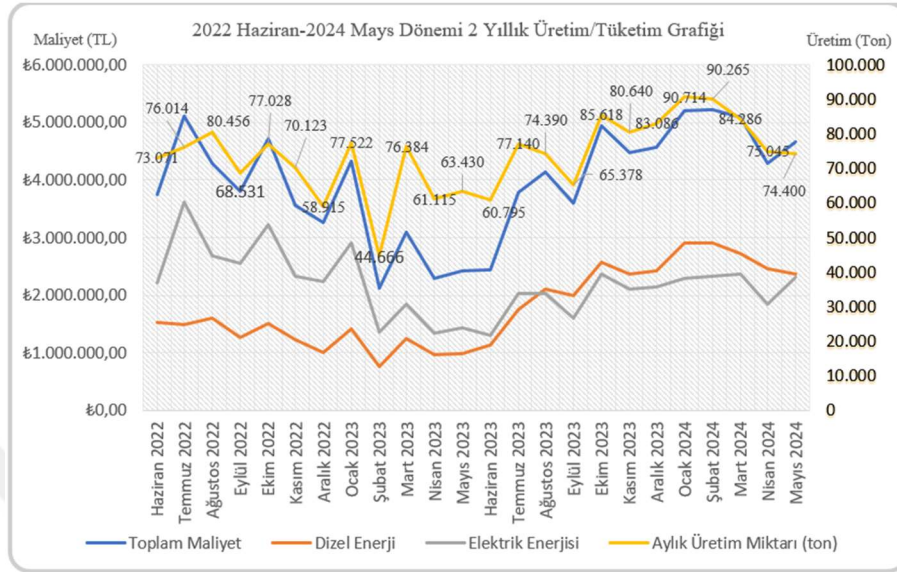
Tesisin üretim faaliyetlerinde son iki yıllık enerji tüketim değerleri incelenmiş ve yıllık ortalama 7.050.412,80 kW (606,33 TEP) elektrik enerjisi tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde yıllık ortalama dizel yakıt tüketimi 673.056 lt (583,46 TEP) olarak tespit edilmiştir. Yıllık ortalama 1.189,86 TEP enerji tüketiminin gerçekleştiği tesiste tüketimin %50,96' i elektrik enerjisi, %49,04' i dizel yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Tesiste kullanılan, elektrik enerjisi ve dizel yakıt enerjisi ile çalışan araç, ekipman ve sistemlerin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 2 yıllık üretime karşılık enerji tüketim verileri ve maliyetleri Tablo 4.3' te gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde son 2 yıllık üretimde, üretim miktarı ve enerji kullanımı arasında paralellik olmakla birlikte 2023 Haziran ayından itibaren artan akaryakıt fiyatları ile dizel yakıt enerji maliyetlerinin artış trendinde olduğu görülmektedir.



Tablo 4.3. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Üretim / Tüketim Verileri

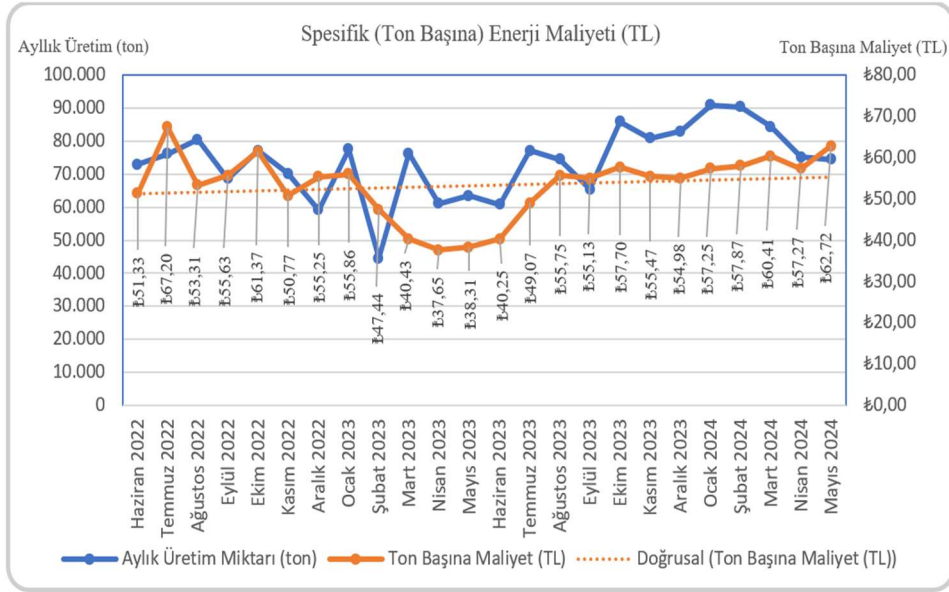
Dönemi	Üretim Miktarı (Ton)	Elektrik Tüketim Verileri			Dizel Yakıt Tüketim Verileri			Toplam Enerji Maliyeti	Ton Başına Maliyet	Ton Başına Elektrik Tüketimi (kW)	Ton Başına Dizel Yakıt Tüketimi (lt)
		Elektrik Tüketim Miktarı (kW)	Elektrik Tüketim Miktarı (TEP)	Elektrik Enerji Maliyeti (TL)	Dizel Yakıt Tüketim Miktarı (lt)	Dizel Yakıt Tüketim Miktarı (TEP)	Dizel Yakıt Enerji Maliyeti (TL)				
Haziran 2022	73.071	582.456,32 kWh	50,09 TEP	2.214.227,19 TL	55.872 lt	48,44 tep	1.536.480,00 TL	3.750.707,19 TL	51,33 TL	7,9711 kW	0,7646 lt
Temmuz 2022	76.014	605.871,44 kWh	52,10 TEP	3.621.689,11 TL	57.600 lt	49,93 tep	1.486.080,00 TL	5.107.769,11 TL	67,20 TL	7,9705 kW	0,7577 lt
Ağustos 2022	80.456	641.319,35 kWh	55,15 TEP	2.689.128,00 TL	61.056 lt	52,93 tep	1.599.667,20 TL	4.288.795,20 TL	53,31 TL	7,9710 kW	0,7588 lt
Eylül 2022	68.531	546.268,66 kWh	46,98 TEP	2.545.220,87 TL	52.416 lt	45,44 tep	1.267.418,88 TL	3.812.639,75 TL	55,63 TL	7,9717 kW	0,7648 lt
Ekim 2022	77.028	613.987,92 kWh	52,80 TEP	3.217.210,24 TL	58.752 lt	50,93 tep	1.509.926,40 TL	4.727.136,64 TL	61,37 TL	7,9709 kW	0,7673 lt
Kasım 2022	70.123	558.956,16 kWh	48,07 TEP	2.335.831,95 TL	53.568 lt	46,44 tep	1.224.564,48 TL	3.560.396,43 TL	50,77 TL	7,9718 kW	0,7639 lt
Aralık 2022	58.915	469.617,12 kWh	40,39 TEP	2.243.987,19 TL	44.928 lt	38,95 tep	1.010.880,00 TL	3.254.867,19 TL	55,25 TL	7,9729 kW	0,7625 lt
Ocak 2023	77.522	617.929,20 kWh	53,14 TEP	2.914.266,59 TL	58.752 lt	50,93 tep	1.415.923,20 TL	4.330.189,79 TL	55,86 TL	7,9712 kW	0,7578 lt
Şubat 2023	44.666	356.035,68 kWh	30,62 TEP	1.357.381,68 TL	33.984 lt	29,46 tep	761.581,44 TL	2.118.963,12 TL	47,44 TL	7,9708 kW	0,7608 lt
Mart 2023	76.384	608.852,16 kWh	52,36 TEP	1.843.462,68 TL	58.176 lt	50,43 tep	1.244.966,40 TL	3.088.429,08 TL	40,43 TL	7,9707 kW	0,7616 lt
Nisan 2023	61.115	487.156,32 kWh	41,90 TEP	1.333.200,70 TL	46.656 lt	40,45 tep	967.645,44 TL	2.300.846,14 TL	37,65 TL	7,9711 kW	0,7634 lt
Mayıs 2023	63.430	505.607,76 kWh	43,48 TEP	1.435.607,61 TL	48.384 lt	41,94 tep	994.291,20 TL	2.429.898,81 TL	38,31 TL	7,9711 kW	0,7627 lt
Haziran 2023	60.795	484.601,04 kWh	41,68 TEP	1.304.166,70 TL	46.080 lt	39,95 tep	1.142.784,00 TL	2.446.950,70 TL	40,25 TL	7,9711 kW	0,7646 lt
Temmuz 2023	77.140	614.890,08 kWh	52,88 TEP	2.029.901,15 TL	58.752 lt	50,93 tep	1.755.509,76 TL	3.785.410,91 TL	49,07 TL	7,9705 kW	0,7577 lt
Ağustos 2023	74.390	592.966,08 kWh	51,00 TEP	2.033.504,46 TL	56.448 lt	48,94 tep	2.113.413,12 TL	4.146.917,58 TL	55,75 TL	7,9710 kW	0,7588 lt
Eylül 2023	65.378	521.130,96 kWh	44,82 TEP	1.609.980,67 TL	49.536 lt	42,94 tep	1.994.319,36 TL	3.604.300,03 TL	55,13 TL	7,9717 kW	0,7648 lt
Ekim 2023	85.618	682.451,28 kWh	58,69 TEP	2.366.270,40 TL	65.088 lt	56,43 tep	2.573.579,52 TL	4.939.849,92 TL	57,70 TL	7,9709 kW	0,7673 lt
Kasım 2023	80.640	642.781,44 kWh	55,28 TEP	2.100.105,30 TL	61.632 lt	53,43 tep	2.372.832,00 TL	4.472.937,30 TL	55,47 TL	7,9718 kW	0,7639 lt
Aralık 2023	83.086	662.286,24 kWh	56,96 TEP	2.137.349,57 TL	63.360 lt	54,93 tep	2.430.489,60 TL	4.567.839,17 TL	54,98 TL	7,9729 kW	0,7625 lt
Ocak 2024	90.714	723.088,80 kWh	62,19 TEP	2.291.508,04 TL	69.120 lt	59,92 tep	2.902.348,80 TL	5.193.856,84 TL	57,25 TL	7,9712 kW	0,7578 lt
Şubat 2024	90.265	719.505,36 kWh	61,88 TEP	2.323.864,00 TL	68.544 lt	59,42 tep	2.899.411,20 TL	5.223.275,20 TL	57,87 TL	7,9708 kW	0,7608 lt
Mart 2024	84.286	671.852,16 kWh	57,78 TEP	2.361.114,85 TL	63.936 lt	55,43 tep	2.730.706,56 TL	5.091.821,41 TL	60,41 TL	7,9707 kW	0,7616 lt
Nisan 2024	75.045	598.172,40 kWh	51,44 TEP	1.844.988,91 TL	57.024 lt	49,43 tep	2.452.602,24 TL	4.297.591,15 TL	57,27 TL	7,9711 kW	0,7634 lt
Mayıs 2024	74.400	593.041,68 kWh	51,00 TEP	2.302.638,70 TL	56.448 lt	48,94 tep	2.364.042,24 TL	4.666.680,94 TL	62,72 TL	7,9711 kW	0,7627 lt
	1.769.012	14.100.825,61 kWh	1.212,67 TEP	52.456.606,56 TL	1.346.112 lt	1.166,96 tep	42.751.463,04 TL	95.208.069,60 TL	53,27 TL	7,9711 kW	0,7609 lt

Tesisin 2022 – 2024 yılları arasındaki 2 yıllık üretim/maliyet ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.2’ de verilmiştir.



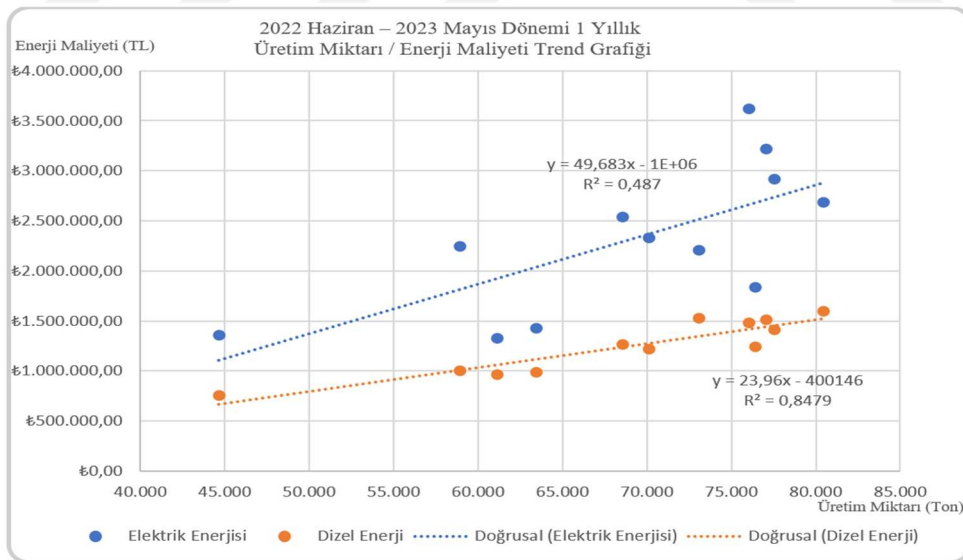
Şekil 4.2. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Aylık Bazda Enerji Maliyetine Karşılık 2 Yıllık Üretim Miktarları

Tesisin son 2 yıllık üretim/tüketim verilerine göre birim üretim (1 ton) için harcanan enerji maliyetleri incelendiğinde, en yüksek birim üretim maliyeti 2022 Temmuz ayında 67,20 TL ile; en düşük birim üretim maliyeti 2023 Nisan ayında 37,65 TL ile gerçekleşmiş ve aylara göre 2 yıllık birim üretim maliyeti ortalaması 53,27 TL olmuştur. 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 2 yıllık spesifik (üretilen ton başına) enerji maliyeti grafiği Şekil 4.3’ te verilmiştir.



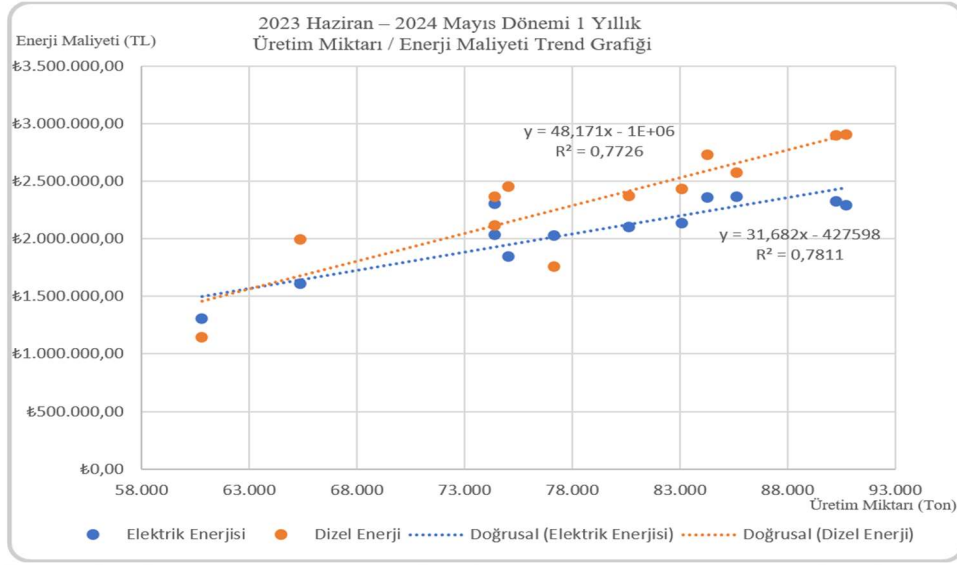
Şekil 4.3. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 2 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyetleri

2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafiği Şekil 4.4' te verilmiştir. Grafik incelendiğinde bu 1 yıllık süreçte ton başına dizel enerji maliyetinin çok fazla artış göstermemesi ile birlikte ton başına elektrik enerji maliyetinin oldukça yükseldiği görülmektedir.



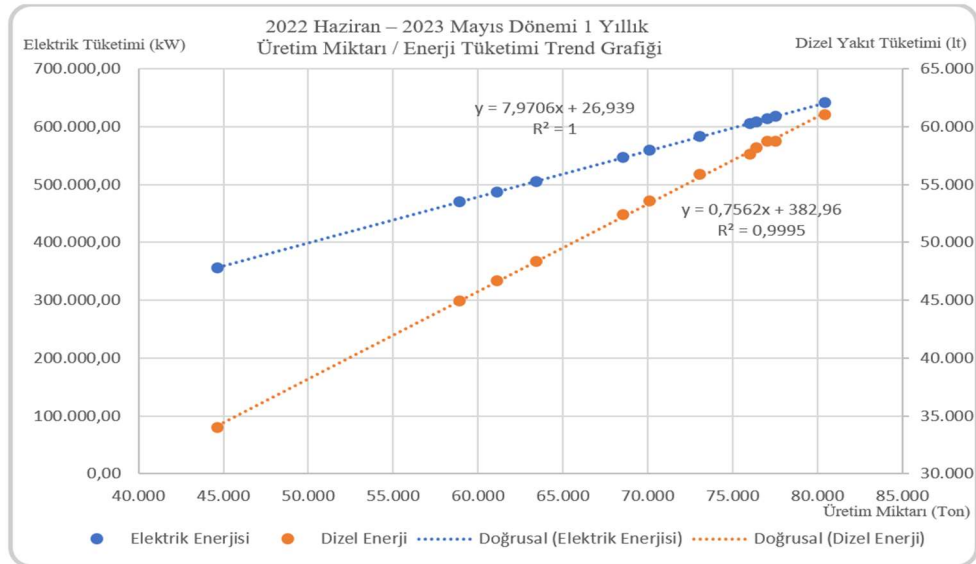
Şekil 4.4. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafiği

2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafiği Şekil 4.5' te verilmiştir. Yine grafik incelendiğinde bu 1 yıllık süreçte dizel yakıt fiyatlarındaki aşırı artışa bağlı olarak ton başına dizel enerji maliyetinin çoğunlukla elektrik enerji maliyetinin üzerinde seyrettiği görülmektedir.



Şekil 4.5. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Maliyeti Trend Grafiği

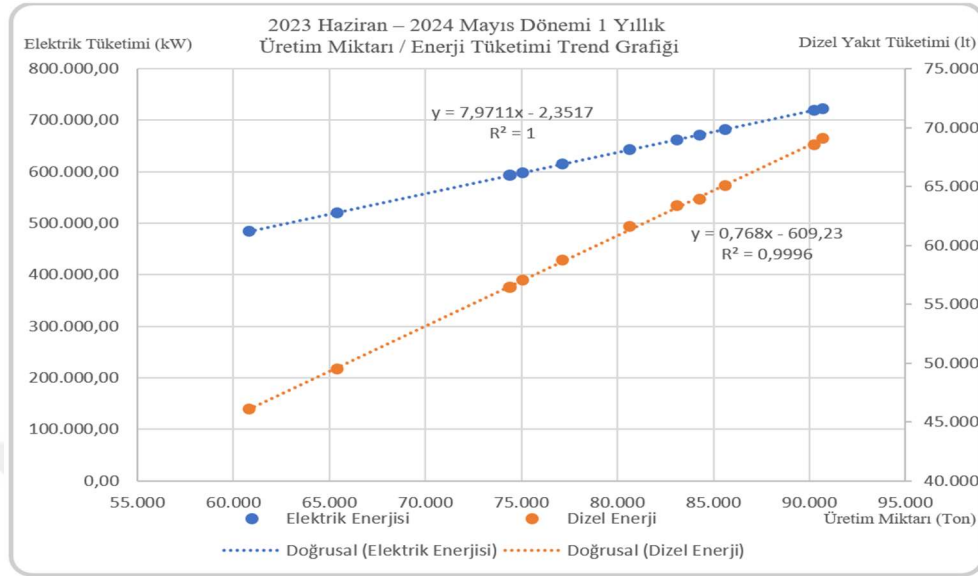
2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafiği Şekil 4.6’ da verilmiştir. Grafikte bu 1 yıllık süreçte tesis içi dizel araçların çalışma yoğunluğuna bağlı olarak üretilen ton başına dizel yakıt tüketiminin elektrik enerjisi tüketimine karşı sürekli artış içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafiği

2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafiği Şekil 4.7’ de verilmiştir. Yine aynı şekilde tesis içi dizel araçların çalışma yoğunluğuna bağlı

olarak üretilen ton başına dizel yakıt tüketiminin elektrik enerjisi tüketimine karşı sürekli artış içerisinde olduğu görülmektedir.



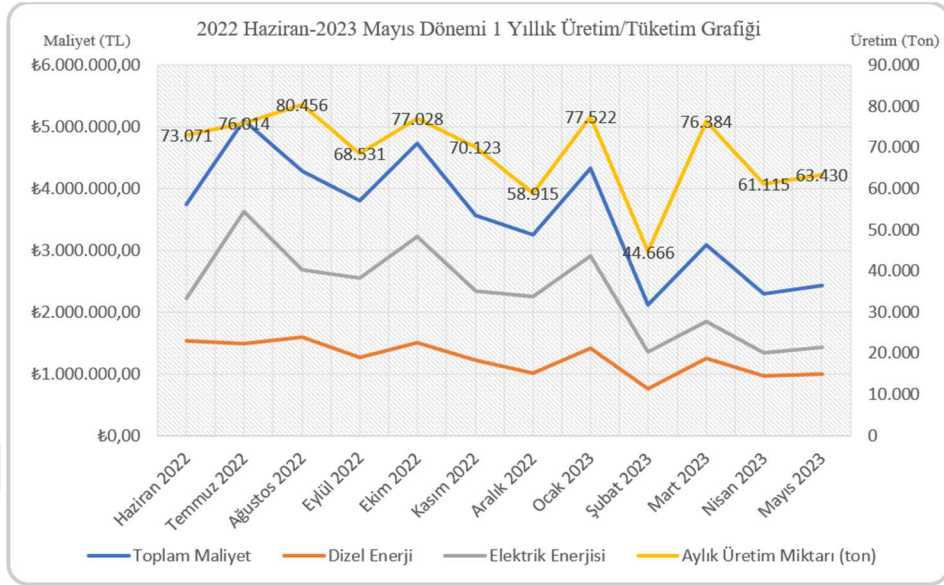
Şekil 4.7. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Üretim / Enerji Tüketimi Trend Grafiği

Tüketim verileri dikkate alındığında önemli enerji kullanıcılarının tanımlanabilmesi için her bir süreç ya da sistemin enerji harcamalarının bilinmesi gereklidir. Enerji izleme yöntemiyle alınan veriler sayesinde önemli enerji kullanıcılarının belirlenmesi sağlanmaktadır. Tesiste büyük güç gereksinimli makinelerin enerji tüketimlerinin takip edilmesi, o makine üzerinde yapılacak bir iyileştirme, enerji performansındaki iyileşmenin etkisini arttıracaktır. Ayrıca donanımların enerji sistemlerine göre gruplandırılması enerji tasarrufunun en uygun olmasını sağlayacaktır.

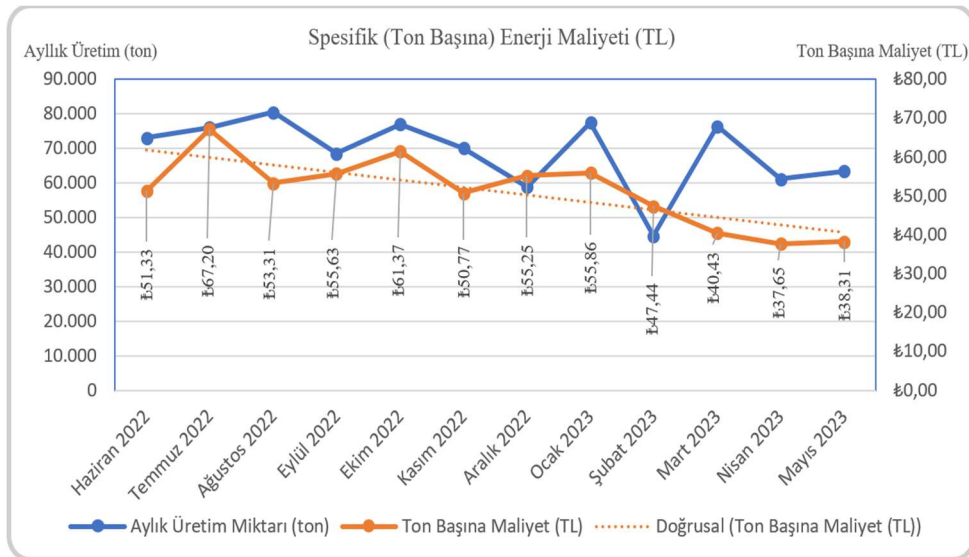
4.4. Önemli Enerji Kullanıcıları

Tesiste enerji tüketen ana ekipmanlar ve sistemler temelde elektrik enerjisi ve dizel yakıt enerjisi ile faaliyet göstermektedirler. Kırıcı, bant konveyör, elekler, besleyiciler, motorlar ve pompalar, kompresör, aydınlatma ve benzeri yardımcı sistemlerde elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Dizel yakıt kullanımı, elektrik kabloları ile sabit enerji sağlanması mümkün olmayan genellikle mobil ve taşınabilir hareketli ekipmanlarda tercih edilmektedir. Tesiste 2022 Haziran – 2023 Mayıs ayları arasında 827.255 ton üretime karşılık 6.594.058,09 kWh (567,09 TEP) elektrik tüketimi ile 630.144 lt (546,27 TEP) dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Toplam 1.113,36 TEP enerji tüketiminin bu bir yıllık süreçteki maliyeti 42.770.638,45 TL olmuştur. 2022 – 2023 yılları arasındaki üretim/maliyet ilişkisini gösteren

grafik Şekil 4.8’ de ve yine aynı dönemin birim ürün başına enerji/maliyet grafiği Şekil 4.9’ da verilmiştir.



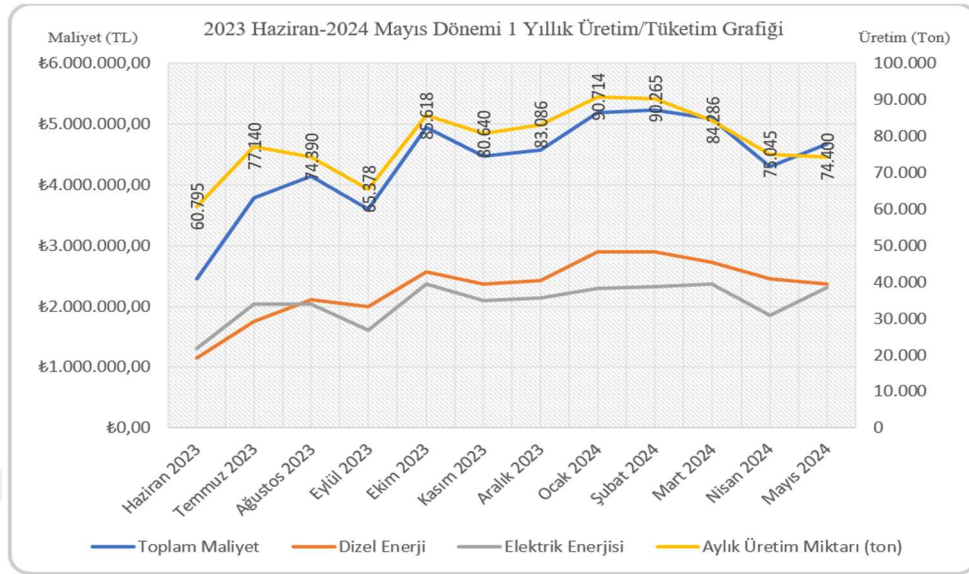
Şekil 4.8. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi Aylık Bazda 1 Yıllık Üretim Miktarına Karşılık Enerji Maliyeti



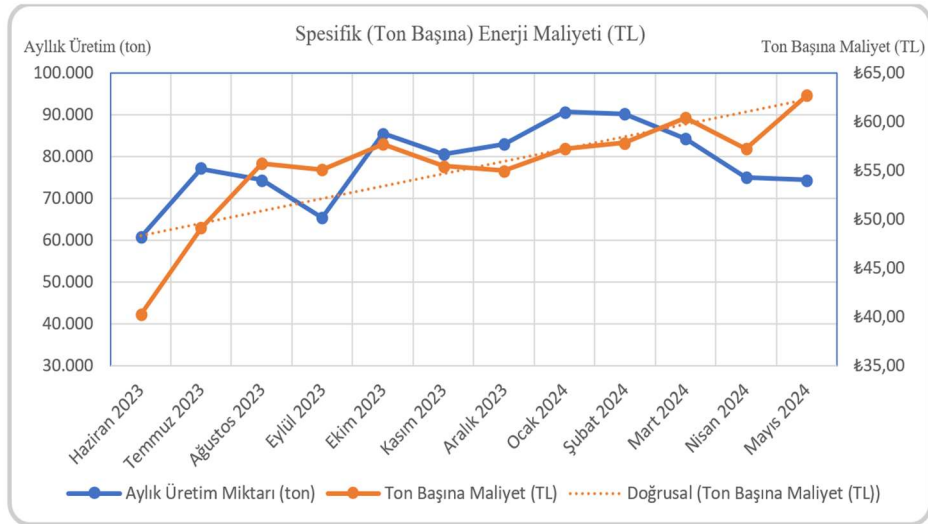
Şekil 4.9. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyeti

Tesiste 2023 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 1 yıllık süreçte 941.757 ton üretime karşılık 7.506.767,52 kWh (645,58 TEP) elektrik tüketimi ile 715.968 lt (620,69 TEP) dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Toplam 1.266,27 TEP enerji tüketiminin 1 yıllık maliyeti 52.437.431,15 TL olmuştur. 2023 – 2024 yılları arasındaki üretim/maliyet ilişkisini gösteren

grafik Şekil 4.10' da ve yine aynı dönemin birim ürün başına enerji/maliyet grafiği Şekil 4.11' de verilmiştir.



Şekil 4.10. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Aylık Bazda Harcanan Enerjiye Karşılık 1 Yıllık Üretim Miktarları

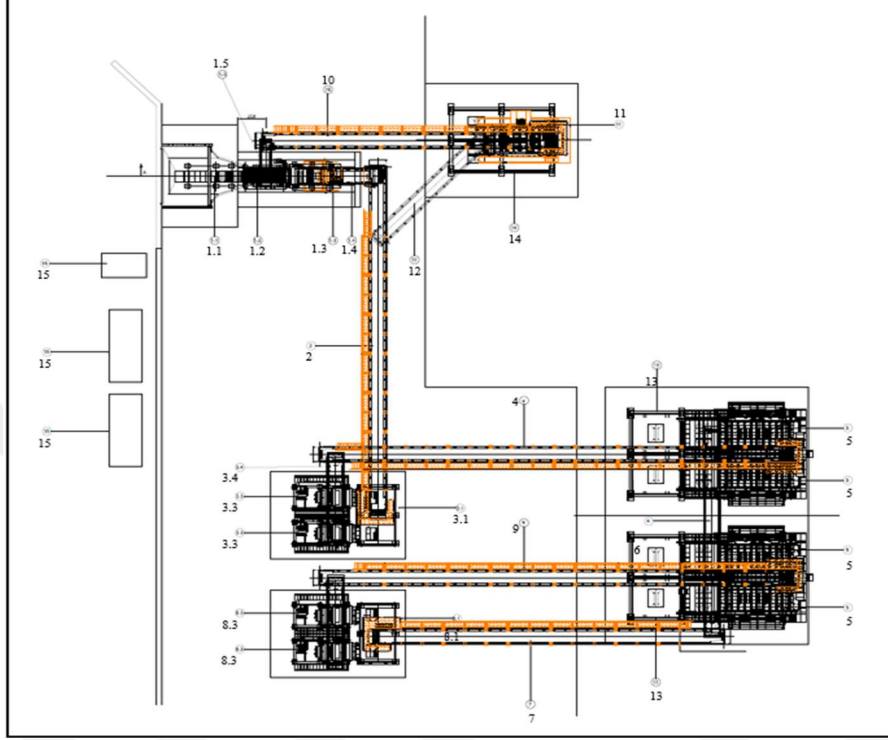


Şekil 4.11. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Spesifik (Üretilen Ton Başına) Enerji Maliyeti

4.5. Elektrik Enerjisi

Proje kapsamında gerekli olan elektrik enerjisi, sahada bulunan 4.000 kW' lik trafoya en yakın elektrik direğinden hat çekilerek temin edilmiştir. Enerjinin alındığı nokta ile tesis arasında, güzergâh boyunca boyalı, kaynaklı demir direkli ve çelik alüminyum iletkenli enerji nakil hattı ile iletim sağlanmaktadır. Tesis içinde bina tipi trafo merkezi bulunmaktadır. Tesisin alçak gerilim elektrik ihtiyacı bu trafo merkezinden yer altı kabloları ile sağlanmaktadır. Tesis

çalışmalarında yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi 7.050.412,80 kWh olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.12’ de elektrik enerjisi ile çalışan kırma, eleme, stoklama sistemlerinin yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 4.12. Kırma-Eleme-Stoklama Elemanları Yerleşim Planı

Şekil 4.12’ de yerleşim planı verilen elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerin güç tüketim değerleri Tablo 4.4’ te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Kırma, Eleme, Stoklama Elemanları Güç Değerleri

1. PRİMER KIRMA ÜNİTESİ				
1.1. TİTREŞİMLİ BESLEYİCİ	B140		30 kW	
1.2. WOBBLER	SAES ER290-1536		30 kW	
1.3. ÇENELİ KIRICI	SAES C150		250 kW	
1.4. DEŞARJ BANDI	U 1.400x7.500		15 kW	
1.5. DEŞARJ BANDI	U 1.200x3.500		11 kW	
2. BANT KONVEYÖR				
	1.400x35.000		2x30 kW	60 kW
3. SEKONDER KIRMA ÜNİTESİ				
3.1. BESLEME BUNKERİ	40 m ³			
3.2. SARSAK BESLEYİCİ	SB125	2 ADET	2x1,96	7,84 kW
3.3. SEKONDER DARBELİ KIRICI	SAES S1415	2 ADET	400 kW	800 kW
3.4 DEŞARJ BANDI	U 1.200x8.000		15 kW	
4. BANT KONVEYÖR				
	1.200x44.000		2x30 kW	60 kW
5. TİTREŞİMLİ ELEK				
	SAES E2472-4	4 ADET	2x22 kW	176 kW

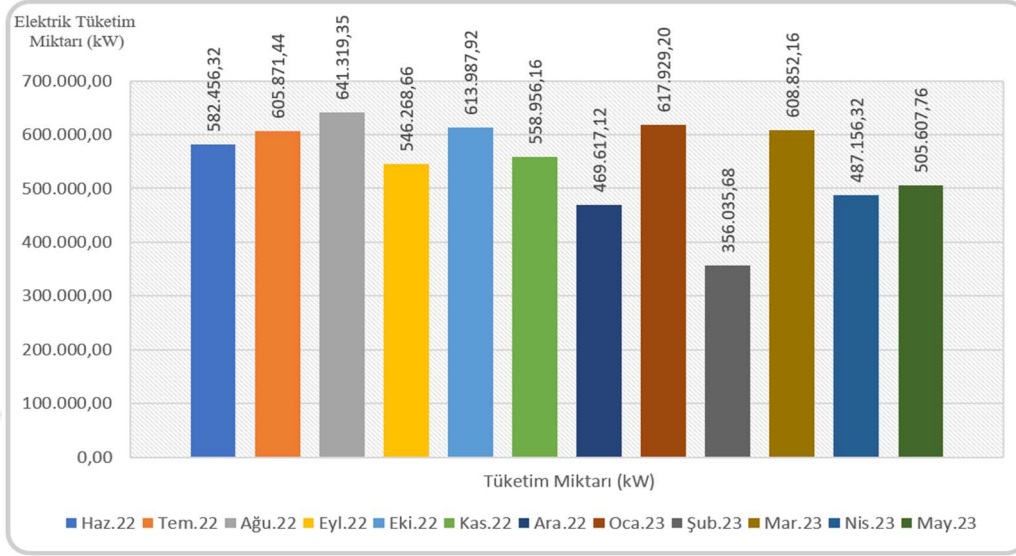
Güç (kW)	15 kW	250 kW	30 kW	250 kW	7,5 kW	22 kW
Çalışma Voltajı (V)	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V
Frekans (Hz)	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Çalışma Şekli	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Güç Faktörü (Cosφ)	0,8	0,85	0,87	0,83	0,76	0,87
Kutup Sayısı	4	4	4	4	4	4
Hız	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk
Motor Verimi	90,60%	95,10%	92,30%	95,10%	88,70%	93%
Verim Sınıfı	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
Koruma Sınıfı	IP55	IP55	IP55	IP55	IP55	IP55

Tesisin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemleri arası son iki yıllık elektrik tüketim verileri Tablo 4.6’ da verilmiştir. Tesiste bu iki yıllık süreçte günlük ortalama 19.268,81 kWh elektrik tüketimi olduğu görülmektedir. İki yılın toplam elektrik enerjisi harcaması 14.100.825,61 kWh (1.212,67 TEP) ve toplam elektrik fatura gideri 52.456.606,56 TL’ dir.

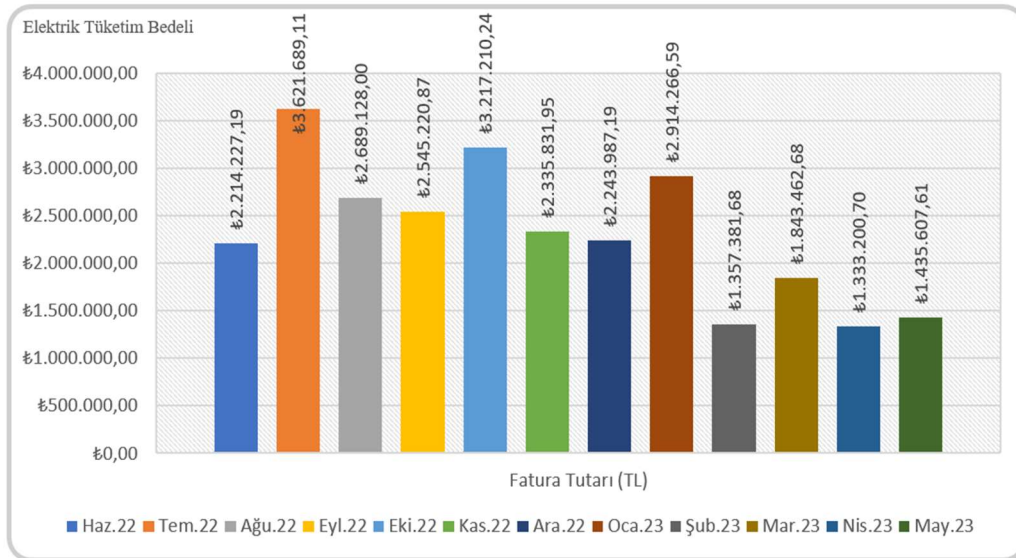
Tablo 4.6. Son 2 Yıla Ait Elektrik Tüketim Verileri

Dönemi	Birim Fiyatı	Tüketim Miktarı	Endüktif Reaktif	Kapasitif Reaktif	Enerji Bedeli	Fatura Bedeli	Gündüz	Puant	Gece	Günlük Ortalama Tüketim
Haziran 2022	3,052147 TL	582.456,32 kWh	0	0	1.777.742,31 TL	2.214.227,19 TL	232.145,60 kWh	164.895,32 kWh	185.415,40 kWh	19.415,21 kWh
Temmuz 2022	4,735299 TL	605.871,44 kWh	0	0	2.868.982,42 TL	3.621.689,11 TL	363.122,86 kWh	73.598,84 kWh	169.149,74 kWh	19.544,24 kWh
Ağustos 2022	3,417897 TL	641.319,35 kWh	0	0	2.191.963,48 TL	2.689.128,00 TL	286.541,20 kWh	154.581,35 kWh	200.196,80 kWh	20.687,72 kWh
Eylül 2022	3,745156 TL	546.268,66 kWh	0	0	2.045.861,35 TL	2.545.220,87 TL	264.130,92 kWh	96.006,46 kWh	186.131,28 kWh	18.209,62 kWh
Ekim 2022	4,234763 TL	613.987,92 kWh	70.711,20 kWh	6.158,96 kWh	2.600.093,33 TL	3.217.210,24 TL	258.607,44 kWh	139.230,00 kWh	216.150,48 kWh	19.806,06 kWh
Kasım 2022	3,338772 TL	558.956,16 kWh	74.859,12 kWh	3.986,64 kWh	1.866.227,18 TL	2.335.831,95 TL	246.617,28 kWh	119.347,20 kWh	192.991,68 kWh	18.631,87 kWh
Aralık 2022	3,847512 TL	469.617,12 kWh	0	0	1.806.857,50 TL	2.243.987,19 TL	469.617,12 kWh	0	0	15.148,94 kWh
Ocak 2023	3,581145 TL	617.929,20 kWh	0	0	2.212.894,06 TL	2.914.266,59 TL	254.872,80 kWh	138.302,64 kWh	224.753,76 kWh	19.933,20 kWh
Şubat 2023	2,822885 TL	356.035,68 kWh	0	0	1.005.047,78 TL	1.357.381,68 TL	158.019,12 kWh	74.511,36 kWh	123.505,20 kWh	12.715,56 kWh
Mart 2023	2,164452 TL	608.852,16 kWh	24.736,32 kWh	10.891,44 kWh	1.317.831,28 TL	1.843.462,68 TL	274.695,12 kWh	107.442,72 kWh	226.714,32 kWh	19.640,39 kWh
Nisan 2023	1,920227 TL	487.156,32 kWh	33.369,84 kWh	9.691,92 kWh	935.450,72 TL	1.333.200,70 TL	240.871,68 kWh	63.277,20 kWh	183.007,44 kWh	16.238,54 kWh
Mayıs 2023	1,999850 TL	505.607,76 kWh	19.943,28 kWh	10.306,80 kWh	1.011.139,68 TL	1.435.607,61 TL	225.419,04 kWh	100.366,56 kWh	179.822,16 kWh	16.309,93 kWh
Haziran 2023	1,882064 TL	484.601,04 kWh	19.817,28 kWh	21.102,48 kWh	912.050,17 TL	1.304.166,70 TL	222.082,56 kWh	101.450,16 kWh	161.068,32 kWh	16.153,37 kWh
Temmuz 2023	2,309126 TL	614.890,08 kWh	0	0	1.419.858,67 TL	2.029.901,15 TL	614.890,08 kWh	0	0	19.835,16 kWh
Ağustos 2023	2,414848 TL	592.966,08 kWh	29.131,20 kWh	14.943,60 kWh	1.431.922,95 TL	2.033.504,46 TL	269.413,20 kWh	126.473,76 kWh	197.079,12 kWh	19.127,94 kWh
Eylül 2023	2,173598 TL	521.130,96 kWh	0	0	1.132.729,68 TL	1.609.980,67 TL	521.130,96 kWh	0	0	17.371,03 kWh
Ekim 2023	2,411845 TL	682.451,28 kWh	0	0	1.645.967,08 TL	2.366.270,40 TL	311.186,20 kWh	97.223,92 kWh	274.041,16 kWh	22.014,55 kW
Kasım 2023	2,242327 TL	642.781,44 kWh	0	0	1.441.326,30 TL	2.100.105,30 TL	296.943,64 kWh	167.536,70 kWh	178.302,10 kWh	21.426,04 kWh
Aralık 2023	2,186809 TL	662.286,24 kWh	0	0	1.448.293,52 TL	2.137.349,57 TL	268.230,56 kWh	179.702,96 kWh	214.847,92 kWh	21.364,07 kWh
Ocak 2024	2,361422 TL	723.088,80 kWh	0	0	1.524.720,56 TL	2.291.508,04 TL	313.929,44 kWh	143.124,68 kWh	266.034,68 kWh	23.325,44 kWh
Şubat 2024	2,174796 TL	719.505,36 kWh	0	0	1.564.778,05 TL	2.323.864,00 TL	302.451,20 kWh	162.768,12 kWh	254.286,04 kWh	24.810,52 kWh
Mart 2024	2,403868 TL	671.852,16 kWh	0	0	1.615.044,00 TL	2.361.114,85 TL	275.172,44 kWh	184.273,74 kWh	212.405,98 kWh	21.672,65 kWh
Nisan 2024	2,095633 TL	598.172,40 kWh	0	0	1.253.550,20 TL	1.844.988,91 TL	257.361,66 kWh	151.844,42 kWh	188.966,32 kWh	19.939,08 kWh
Mayıs 2024	2,463520 TL	593.041,68 kWh	0	0	1.460.970,55 TL	2.302.638,70 TL	248.234,88 kWh	154.044,74 kWh	190.358,24 kWh	19.130,37 kWh
		14.100.825,61 kWh	275.568,24 kWh	77.081,84 kWh	38.491.302,82 TL	52.456.606,56 TL	7.175.687,00 kWh	2.700.002,85 kWh	11.400.822,76 kWh	19.268,81 kWh

Tesisin 2022 Haziran – 2023 Mayıs dönemi 1 yıllık elektrik tüketim miktarlarını kW cinsinden gösteren grafik Şekil 4.13’ te ve aynı döneme ait 1 yıllık elektrik fatura giderleri grafiği Şekil 4.14’ te verilmiştir.

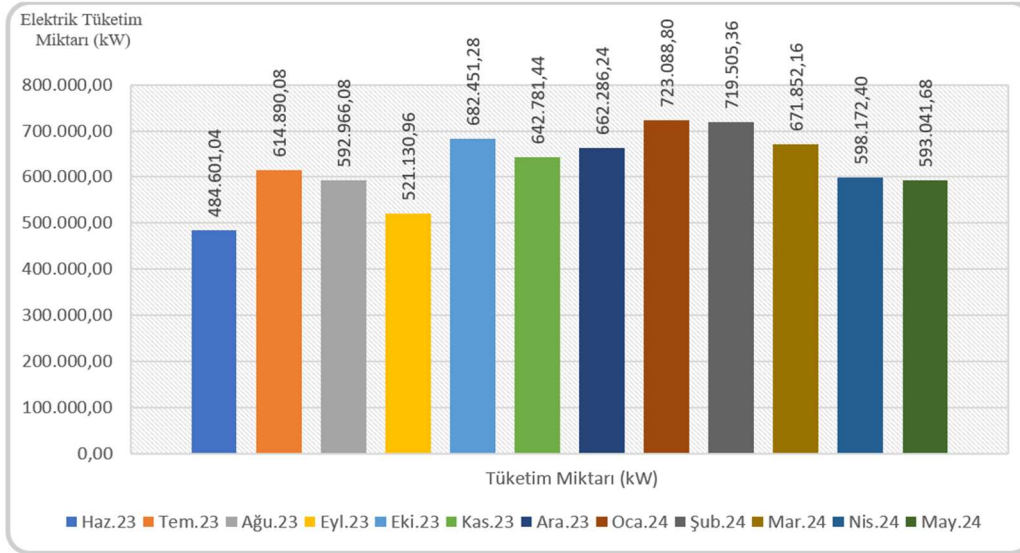


Şekil 4.13. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Miktarları (kW)

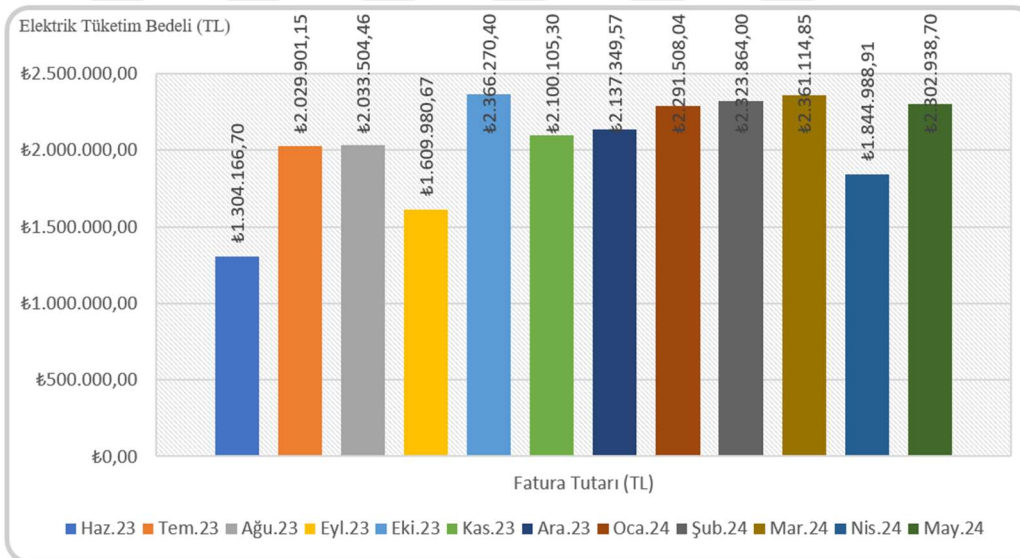


Şekil 4.14. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Bedelleri (TL)

Tesisin 2023 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 1 yıllık elektrik tüketim miktarlarını kW cinsinden gösteren grafik Şekil 4.15’ te ve aynı döneme ait 1 yıllık elektrik fatura giderleri grafiği Şekil 4.16’ da verilmiştir.

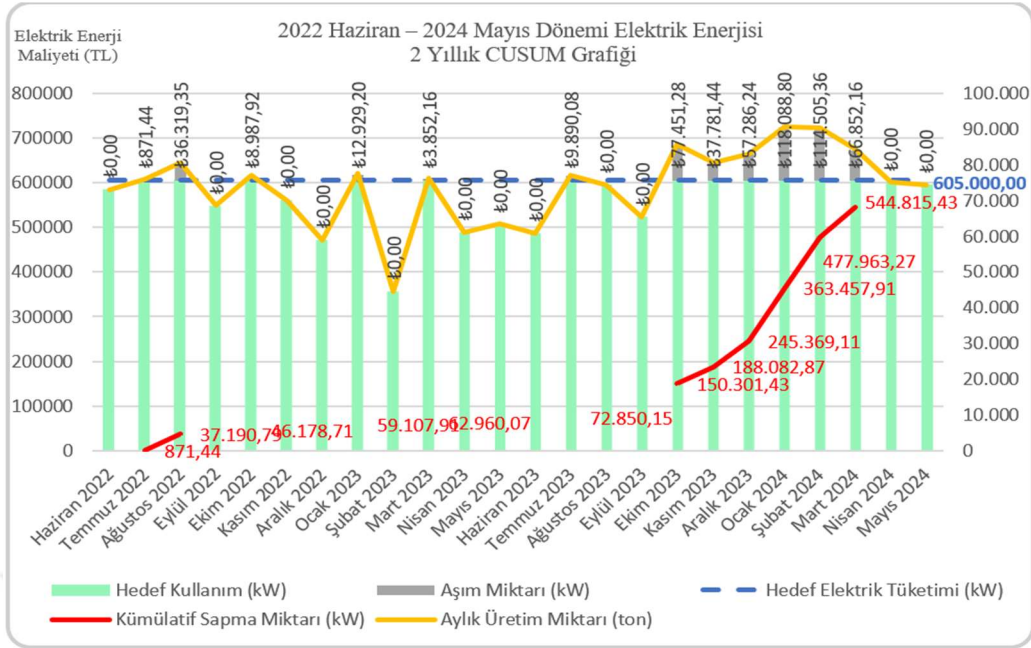


Şekil 4.15. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Miktarları (kW)



Şekil 4.16. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Elektrik Tüketim Bedelleri (TL)

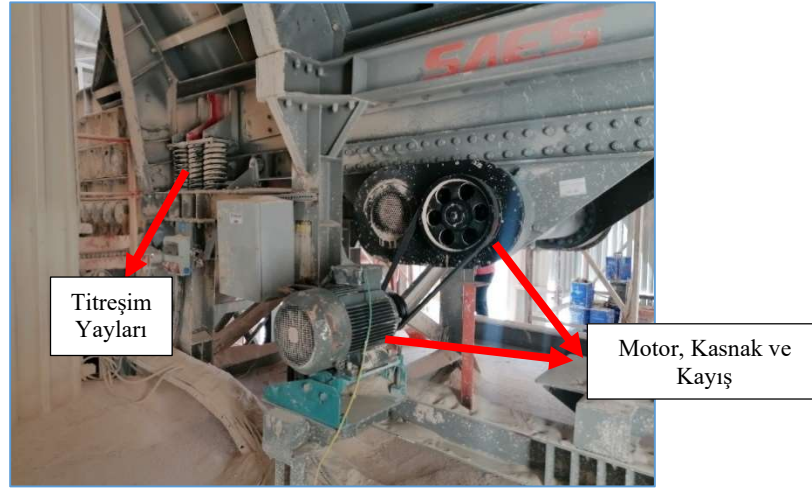
Tesisin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 2 yıllık elektrik tüketim CUSUM grafiği Şekil 4.17' de verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi, elektrik tüketim miktarı ile nihai ürün üretim miktarı arasında doğrusal bir ilişki olmakla birlikte hedef tüketim değerine göre sürekli artma ya da azalma eğiliminde olmadığından süreçte sistematik bir sapma bulunmamaktadır. İki yıllık süreç incelendiğinde tesisin en az enerji harcaması gerçekleştirdiği 2023 Şubat ayı aylık üretimin en az olduğu dönemdir. En çok enerji harcamasının gerçekleştiği 2024 Ocak ayı ise üretimin en çok olduğu dönem olmakla birlikte enerji tüketim hedefinin de en fazla aşıldığı dönem olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 4.17. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Elektrik Enerjisi 2 Yıllık CUSUM Grafiği

4.6. Besleyici Analiz ve Ölçümleri

Tesiste 30 kW'lık 1 adet titreşimli besleyici, 30 kW'lık 1 adet wobblers, toplamaları 15,68 kW gücünde 4 adet sarsak besleyici kullanılmaktadır. Titreşimli besleyici 2 adet 30 kW gücünde %92,30 verim sınıfında 3 fazlı asenkron motor ile wobblers besleyici 1 adet 30 kW gücünde %92,30 verim sınıfında 3 fazlı asenkron motor ile sarsak besleyiciler ise 4 adet 7,5 kW gücünde %88,70 verim sınıfında 3 fazlı asenkron motor ile çalışmaktadır. Kullanılan titreşimli besleyici 50 metreküp hacimli besleme bunkerleriyle beslenmektedir. Şekil 4.18' de tesiste kullanılan titreşimli besleyiciye ait titreşim yayları ve wobblere ait tahrik kayışı, motor ve kasnak görülmektedir.



Şekil 4.18. Tesiste Kullanılan Titreşimli Besleyici ve Wobblere Ait Yaylar ve Kayış

Helisel baskı yaylarının düzgün çalışıp çalışmadığını belirlemek için öncelikle gözle görülebilen deformasyon olup olmadığına bakılmıştır. İleri düzeyde çatlak, kırık, korozyon veya aşınma görülmemekle birlikte yüzeylerde paslanma tespit edilmiştir. Besleyici çalışırken normalin dışında gürültü veya düzensiz titreşim gözlenmemiştir. Yayların sertlik testi özel sertlik tespit cihazları ile boyut ölçümleri ise kumpaslar, metrik ölçüm şeritleri veya çap ölçüm cetvelleri ile ölçülmektedir. Büyük boyutlu yayların ölçümleri kumpas ile çok mümkün olmamaktadır. Besleyiciye ait yayların ölçümü dijital metrik ölçüm şeridi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Metrik ölçüm şeridi kullanarak yay ölçümü yapmak, yayı oluşturan parçanın boyunu, çapını, kalınlığını ölçmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Besleyici yaylarının bükülme çapı, uzunluğu ve kavis mesafesi ölçüm adımları; dış çap ölçümü, iç çap ölçümü, tel kalınlığı ve yay uzunluğu ölçümü şeklinde yapılmıştır. Dijital metrik ölçüm şeridine ait görsel Şekil 4.19' da verilmiştir.



Şekil 4.19. Metrik Ölçüm Şeridi

Çap uzunluğu ölçümü yapmak için yayların iç kısımlarına metrik ölçüm şeridinin yerleştirilemediği durumlarda yay çevresi ölçümü yapılarak aşağıdaki Formül 4.1' den yararlanılmıştır.

$$Cap = \frac{Cevre}{\pi} \approx \frac{Cevre}{3,14} \quad (4.1)$$

Ölçümler sırasında metrik ölçüm şeridi, yay boyunca düzgün ve gerilimsiz bir şekilde yerleştirilmiş, şeridin kıvrılmadığından veya bükülmediğinden emin olunmuştur. Adım mesafesi, yay halkalarının arasındaki mesafeyi ifade eder. İki ardışık yay halkasının tam olarak birleştiği noktalar belirlenip şeridi bu iki nokta arasına yerleştirerek aradaki mesafelerin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Titreşimli besleyiciye ait 45 cm kapalı yükseklikte altı adet yayın ölçüm sonuçları Tablo 4.7' de verilmiştir. Yapılan ölçümlerde makineye bağlı 6 adet yayın iç çap, dış çap ve tel kalınlıklarında değişme ve eksen kayması görülmemiştir. Uzun süreli çalışma sonucu boş bunker ağırlığına bağlı yükseklikler sırasıyla 69,5 cm, 69,6 cm, 69,4 cm, 69,8 cm, 69,7 cm, 69,8 cm olarak ölçülmüştür. Bu durum ortalama yay yükseklikleri baz alındığında besleme haznesinin 0,8 cm seviyesinde bir yöne yatık olduğunu göstermektedir. Bu eğikliğin tıkanma riskini artırmayacağı, malzeme akışında dengesizlik oluşturmayacak seviyede olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.7. Titreşimli Besleyici Yaylarının Ölçüm Sonuçları

Sıra	Yayın Uç Kısmı	Yatak Tipi	Toplm Sarım Sayısı (ig=if)	Blok Boyu (kapalı konum boyu) (LBL=(if+1).d)	Serbest Yay Boyu (Lo=if.h+d)	Tel Kalınlığı	Dış Çap	İç Çap	Yükteki Yükseklik
Yay 1	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,5 cm
Yay 2	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,6 cm
Yay 3	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,4 cm
Yay 4	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,8 cm
Yay 5	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,7 cm
Yay 6	Açık Sonlu	Her iki uç sabit eksenel yataklı	10	45 cm	70,2 cm	4,5 cm	28 cm	23,5 cm	69,8 cm

d= tel çapı, if= aktif çalışan sarım sayısı, h= adım

Titreşimli besleyici kontrol ve ölçümlerinden sonra wobblers besleyici sisteminin verimini etkileyen unsurlar incelenmiştir. Bu unsurlar hem besleyicinin mekanik özelliklerinden hem de kullanılan malzemenin özelliklerinden kaynaklanabilir.

Wobblers besleyicinin de titreşimli besleyici gibi en önemli bileşeni elektrik motorudur. Malzemenin eliptik çubuklar üzerinde aldığı yol (m/s) motorun hareketiyle besleyicideki

disklerin dönme hızına bağlıdır. Disklerin dönme hızı genellikle dakika başına devir (RPM) cinsinden ölçülür. Disklerin dönüş hızı, malzemelerin taşınma hızını ve besleme kapasitesini doğrudan etkiler. Yüksek RPM, daha hızlı besleme sağlarken, düşük RPM malzemelerin daha yavaş hareket etmesine neden olur. Malzeme hızının yüksek olması büyük hacimli malzemelerin hızlı taşınması anlamına gelmekle birlikte iletilmemesi gereken küçük boyutlu malzemeler yüksek hızdan dolayı elenme süresinin altında kalacaktır. Ya da yavaş besleme malzemenin tamburda daha süre kalması nedeniyle kapasitenin tam olarak kullanılmamasına ve düşük verime yol açarken, hızlı besleme ise wobblersin malzemeleri düzgün bir şekilde ayırıştırılamamasına ve kırıcının tıkanmasına neden olabilir. Tesiste kullanılan wobblers besleyicinin saniyede yaklaşık olarak 5/12 oranında tur yaparak 25 RPM hızla döndüğü tespit edilmiştir. Bu hızın sistemin verimliliği ve taşınacak malzemenin türüne göre optimize edildiği göz önünde bulundurularak malzeme akışında herhangi problem, sistemde tıkanma ya da boşta çalışma görülmemiştir.

Tamburların yüzey yapısı malzemenin hareketini ve eleme verimliliğini etkiler. Daha pürüzlü yüzeyler, malzemenin daha iyi kavranarak birim zamanda daha çok yol almasını sağlar. Ayrıca tambur yerleşim açısı malzemelerin yerçekimi yardımıyla hareket etmesini sağlar. Açık ne kadar dikse, malzemeler o kadar hızlı akar ancak kırıcının malzeme hızına yetişemediği durumda tıkanma meydana gelecektir. Uygun bir açı, malzemelerin düzenli ve dengeli bir şekilde taşınmasını sağlar. Kullanılan wobblersin 35°' lik eğim açısı ile konumlandırıldığı ölçülmüştür.

Wobblers besleyici sistemlerinde zincir ve kayış ikilisi birlikte çalışarak malzemeyi taşımak üzere tamburları döndüren sistemin bir parçası olarak bulunur. Kayış motorun döner hareketini zincir sistemine ileterek, zincirin malzemeyi taşıırken düzenli ve sabit bir hızla ilerlemesini sağlar. Wobblers besleyicilerde taşınacak malzeme, sistem hızı ve tork gereksinimine göre senkron kayış (Timing Belt), V kayışı (V Belt), düz kayış (Flat Belt), zincir kayış (Chain Drive) gibi kayış tipleri kullanılmaktadır. Kayışlar yapılarına göre lastik, polyester, kevlar veya naylon malzemeden üretilmektedir. Kullanılan kayışın malzemesi ve tasarımı sürtünmeyi etkiler. Daha az sürtünme sağlayan, yüksek tutunma özellikli kayışlar motorun harcadığı enerjinin maksimumunu iletirler. Aşınmış, aşırı ısınmış, gevşek veya sıkı gerilmeli kayışlar enerji kaybına yol açmaktadır. Tesiste wobblers besleyici motorunda düz yapısıyla daha geniş yüzey alanı sağlayan lastik kayış kullanılmaktadır. Buradaki en büyük avantaj yüzey temasının genişliği sayesinde aşınma süresinin uzun olmasıdır. Kullanılan kayışın gerginliği, yüzeyinde çatlak, kesik veya aşınma olup olmadığı, uygun gerilimde olup

olmadığı, üzerinde kir ve yağ birikintileri olup olmadığı, çalıştığı ortamın sıcaklığı ve kayışın ısısı gibi kontroller gerçekleştirilmiş, herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır.

Titreşimli besleyici ve wobblers besleyici sistemlerinin verimini hem mekanik özelliklerden hem de kullanılan malzeme ve ortam bakımından etkileyecek unsurlar değerlendirilmiştir. Taşıma kapasitesinin üzerinde malzeme yüklemesi ve buna bağlı besleme tablasında eğilme veya çatlağa, kaynak noktalarında korozyona, titreşim nedeniyle bağlantı elemanlarında gevşeme veya kopmaya rastlanılmamıştır.

Helisel baskı yaylarında ileri düzeyde çatlak, kırık, korozyon veya aşınma görülmemekle birlikte yüzeylerde paslanma tespit edilmiştir. İlk aşamada yayda hafif yüzeysel paslanma olduğu ön görülerek pasın bir kısmı ince zımpara veya tel fırça ile temizlenebilir. Ancak bu işlemi yaparken yayı aşırı derecede aşındırmamaya dikkat edilmelidir. Paslanmadaki derinlik tespit edildikten sonra yayların üzerine epoksi, toz boya veya anti-korozyon kaplamaları uygulanarak, yay yüzeyinin oksijen ve nemle temas etmesi engellenebilir. Bu kaplamalar, yayların çevresel etmenlere karşı dayanıklılığını artıracaktır. Son aşamada yayların paslanmasını engellemek için polimer bazlı koruyucu yağ veya pas önleyici spreylere kullanılabilir. Bu tür yağlama maddeleri yay yüzeyine ince bir tabaka şeklinde uygulanarak nemin metalle temasını engeller ve paslanmayı yavaşlatır.

Tesis çalışma şartlarından kaynaklı besleyici parçalarının içinde biriken toz ve kir, makine bileşenlerini ve yağı kirletebilir ve sistemin verimli çalışmasını zorlaştırır. Tesis çalışanlarından alınan gerek titreşimli besleyici gerekse wobblers besleyicinin; yay, kayış, dişli, şaft, zincir, bilye, süspansiyon, rulman ve destek araçları gibi elemanların yağlanma, bakım periyotları ve motor kontrol süreleri bilgileri ile ilgili olarak wobblers besleyici motor kayışının 8 aylık periyotlarla değiştirildiği öğrenilmiştir. Genel bir kılavuz olarak, wobblers lastik kayışlarının ortalama 2000-4000 saat arasında çalışabildiği bilinmektedir. Tesisin üç vardiya halinde günde 24 saat çalıştığı, her vardiyada 1 saat mola olduğu durumu düşünülerek günde 21 saat aktif olan makine ve sistemler yılda 288 gün faaliyet göstermektedir. Bu durumda wobblers besleyici motor kayışının potansiyel olarak yılda 6000 saat çalıştığı hesaplanmıştır. Her 2000 saatlik çalışma süresi veya her 4 ayda bir aşınma, kopma veya deformasyon gibi sorunların önceden tespit edilmesine karşı kayış kontrolü önerilmiştir.

Tesisin tozlu çalışma ortamı ve süreleri göz önünde bulundurularak; yüksek yük altında çalışması nedeniyle motor tahrik sistemi ve zincirin yağ kontrolünün 2 aylık periyotlarda yapılması ve her 4-6 aylık dönemlerde yağ değişimi önerilmiştir.

Dönen diskler ve tahrik makaraları yüksek yük ve hız altında çalışmaktadır. Disk ve makaraların kuruması durumunda sürtünmenin artacağı verimin düşeceği için disk ve

makaraların yağ kontrolleri 4 aylık periyotlarda yapılabilir ve her halde 6-8 aylık dönemlerde yağ değişimi yapılabilir. Rulman, şaft ve dişliler kir, toz veya aşırı ısınmadan etkilenebilir. Bu parçaların yağ kontrolleri 4 aylık periyotlarda yapılabilir ve 6-8 aylık dönemlerde yağ değişimi yapılabilir. Yağlama işlemi uygun bir yağ pompası, fırça veya sprey sistemi ile yapılmalıdır. Bazı birimlerde otomatik yağlama sistemleri kullanılabilir, bu sistemler yağın her zaman doğru miktarda ve doğru zamanda uygulanmasını sağlayacaktır. Parametrelerin doğru ayarlanması ve performans birimlerinin düzenli takip ve bakımı, malzeme akışının optimize edilmesini, tıkanmaların önlenmesini ve daha seri bir çalışma süreci sağlar. Bu durum zamanın etkin kullanılması ve motorun daha az yük altında çalışması ile daha az enerji kullanımı anlamına gelmektedir.

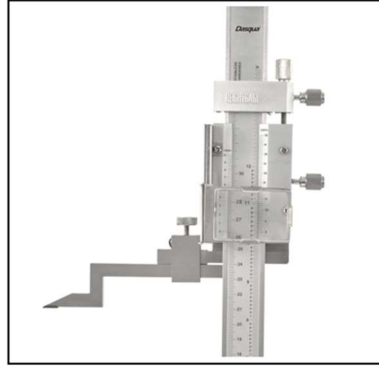
4.7. Kırıcı Analiz ve Ölçümleri

Tesiste kırma ve ufalama işlemleri için 250 kW'lık 1 adet çeneli kırıcı, 400 kW'lık 2 adet sekonder darbeli kırıcı ve 400 kW'lık 2 adet tersiyer darbeli kırıcı kullanılmaktadır. Çeneli kırıcı; 250 kW gücünde, %95,10 verim sınıfında 2 adet 3 fazlı asenkron motor, sekonder darbeli kırıcı; 250 kW gücünde %95,10 verim sınıfında 2 adet 3 fazlı asenkron motor ve tersiyer darbeli kırıcı; 250 kW gücünde, %95,10 verim sınıfında 2 adet 3 fazlı asenkron motor ile çalışmaktadır. Kırıcılarda malzeme çıkış boyutunun ihtiyaca göre ayarlanabilmesi ile birlikte çeneli kırıcıdan nihai ürün boyutu maksimum 200 mm, sekonder darbeli kırıcıdan nihai ürün boyutu maksimum 60 mm, tersiyer darbeli kırıcıdan nihai ürün boyutu maksimum 20 mm büyüklükte alınmaktadır.

Tesiste kullanılan çeneli kırıcı plakaları kayış kasnaklı tahrik sistemi ile hareket ettirilmektedir. Plakalar aşınmaya dayanıklı manganlı dökümden, eksantrik mil Cr, Ni ve Mo alaşımlı dövme çelikten imal edilmiştir. Aşınmaya maruz kalan bütün plaka yüzeyleri astarla kaplanmış ve çene açıklığı hidrolik olarak ayarlanmaktadır. Ayrıca PLC kontrollü otomatik yağlama sistemi bulunmaktadır.

Kırıcıların verimli ve uzun ömürlü çalışabilmesi için düzenli bakım ve onarım önemlidir. Çeneler arasındaki açıklık, giren malzemenin maksimum boyutunu ve çıkan ürünün boyutunu belirler. Giren malzeme özelliklerine ve istenen nihai ürün boyutuna göre doğru ayarlanan çene açıklığı, çenelerin hareket genliği ve frekansı, kırıcı verimliliği açısından oldukça önemlidir. Çeneler arası açı genellikle 20-30 derece olarak ayarlanmaktadır. Çenelerin idealden dar açı ile çalışması malzemenin sıkışmasına, geniş açı ile çalışması düşük kırma verimliliğine neden olmaktadır. Ayrıca eksantrik hız, çalışma basıncı, malzeme yüksekliği ve besleme noktası, besleme dağılımı ile besleme hızı gibi etkenler kırma işleminin akışı açısından önemlidir.

Plakaların yüzeyleri ve koruyucu astarlar gözle kontrol edilerek, aşınma durumu, çatlak, oyuk ve düzensizliklerin olup olmadığı kontrol edilmiştir. Fabrika katalog verilerine göre çeneli kırıcı başlangıç plaka diş kalınlığının 60 mm olduğu bilinmektedir. Plaka dişli tasarımında ileri boyutta aşınma ve bozulmaya rastlanılmamakla birlikte mevcut aşınmanın plaka yüzeylerinde homojen olduğu görülmüştür. Verniyer aracılığıyla plaka dişli kalınlık ölçümlerinde minimum derinlik 48 mm olarak kaydedilmiştir. Kullanılan verniyere ait görsel Şekil 4.20’ de verilmiştir.



Şekil 4.20. Verniyer

Çeneli kırıcıdaki ideal eksantrik hızı ve basınç, kırıcının boyutuna, tasarımına, kırılacak malzemenin sertlik ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Eksantrik mil hızı küçük ve orta büyüklükteki kırıcılarda ortalama 200 – 400 rpm iken büyük boyutlu çeneli kırıcılarda 100 – 200 rpm aralığında olmaktadır. Tesiste kullanılan C150 model kırıcı büyük boyutlu ve kapasiteli kırıcı sınıfında faaliyet göstermektedir. Eksantrik hızının yüksek olması birim zamanda daha fazla kapasitede kırma ve daha ince malzeme anlamına gelmekle birlikte enerji tüketiminin artması demektir. Düşük hızlar, kaba kırma ve daha az enerji kullanımı demektir, ancak kapasite düşebilir. Yumuşak malzemeler ve ince ürün boyutu için yüksek eksantrik hızı uygunken, sert ve yoğun malzemeler için düşük eksantrik hızı tercih edilir. Çene açıklığı ve hareket açısı, mil tasarımı ve boyutu, malzemenin fiziksel özellikleri basınca etki eden faktörlerdir. Çeneli kırıcılar malzemeye ortalama 100 – 400 MPa aralığında basınç uygulayabilirler. Basıncın ihtiyaç kadar olması enerji tasarrufu sağlarken aşınma etkisini azaltır. Ancak malzeme sertliği arttıkça yüksek basınçlı kuvvet gerekecektir. Granit, bazalt gibi sert malzemeler kırılırken düşük eksantrik hız ve yüksek basınç gerekirken, kireçtaşı gibi yumuşak malzeme kırılırken daha yüksek eksantrik hız ve düşük basınç uygulanmalıdır. Gereğinden fazla eksantrik hızı ve çene basıncı titreşim ve gürültünün yanı sıra bileşenlerde aşırı yüklenme ve enerji sarfiyatına neden olacaktır.

Milin düzgün çalışıp çalışmadığıyla ilgili olarak rulmanlarda aşınma, boşluk ve yağ seviyeleri kontrol edildikten sonra motor gücünü hareketli parçalara ileten tahrik kayışları ve kasnaklar incelenmiştir. Kasnağa bağlı kayış motorun hareketini kasnak aracılığıyla mile iletmektedir. Güç transferi açısından doğru kayış gerginliği ve dayanıklılığı son derece önemlidir. Kayışın çok sıkı olması aşırı gerilim sonucu rulmanları zorlar, gevşek kayış kaçırma ve kayma nedenidir. Kayış ve kasnaklarda kullanıma bağlı çatlak, deformasyon, üzerinde yağlanma ve kirlenme olup olmadığı, kayış-kasnak hizalaması, eksen kayması olup olmadığı, kasnak oluklarının pürüzsüzlüğü kontrol edilmiştir. Ayrıca hareket sağlayıcı bileşenlerin çalışma ısıları kontrol edilmiştir.

Tesiste kullanılan sekonder darbeli ve tersiyer darbeli kırıcılarla ilgili olarak; standart darbeli kırıcıların özelliklerine ek olarak hidrolik sistem yardımıyla kolay ayar, aşırı yüke karşı koruma ve hidrolik kollar ile açılan kapakları sayesinde kolay bakım imkânı sağlamaktadır. Ayrıca çekiçler, konumları dört defa değiştirilerek kullanılabilir. Çekiçler ve tavan kırıcı plakalar Mn' li çelik dökümden imal edilmiştir. Geri sıçramaya karşı koruma sağlayacak olan zincir perdeli büyük giriş ağzı bulunmakta ve kırıcıların iç yüzeyleri aşınmaya dayanıklı astar plakaları ile kaplanmıştır. PLC kontrollü otomatik yağlama sistemi, frekans konvertörü ve ağır hizmet tipi rulmanları bulunmaktadır.

Darbeli daha yüksek rotor hızları, malzemeye daha fazla kinetik enerji kazandırır, bu da daha ince kırma sağlar. Düşük hızlar, kaba kırma ve enerji tasarrufu için uygundur. Malzemenin rotor çekiçlerine ve astar plakalarına çarpma açısı, kırılma verimliliğini etkilemektedir. Optimum çarpma açısı, malzemenin enerji kaybını en aza indiren ve maksimum kırılma sağlayan açıdır. Malzemenin çarpma şiddetini astar plakalarının rotor çekiçlerine olan mesafesi belirler. Daha dar mesafe ayarı daha ince ürünler üretirken geniş mesafeler daha kaba ürünler üretir.

İlk olarak çeneli kırıcıdan parçalanarak sekonder darbeli kırıcıya gelen ve sekonder darbeli kırıcıda kırıldıktan elek üstünde kalan ve tersiyer darbeli kırıcıya gelen malzemelerin beslemesinde dengesizlik veya besleme hatası olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra her iki darbeli kırıcıda aşınma, gevşeklik veya balans sorunlarının habercisi olan anormal titreşim veya gürültü olup olmadığı gözlemlenmiştir. Rotor kütüğünün hasar görmesi durumunda balansın bozulacağı nedeniyle dengesiz dönme sorunları, aşırı titreşim ve çekiç, rulman, mil, şasi gibi parçaların bozulması sorunları ortaya çıkacaktır. Dengesiz yüklenme veya darbeye bağlı balans durumu, yüzeydeki çatlaklar veya deformasyonlar kontrol edilmiştir. Daha sonra çekiç ve astar plakalarının aşınma durumları kontrol edilmiştir. Toz birikimi ve filtrasyon yeterliliği gibi hususlar incelenmiştir.

Rotor dönme hızının doğru aralıkta olması hem kırma verimliliği hem de parçaların kullanım ömrü açısından önemlidir. Kırıcı üreticisinin teknik dokümanlarını kontrol ederek sekonder darbeli kırıcının rotor hızının maksimum 500 d/dk, tersiyer darbeli kırıcının rotor hızının maksimum 700 d/dk olduğu görülmüştür. Tesis çalışanların alınan bilgiye göre motora bağlı dönen makine ve teçhizatın devir hızları belirli aralıklarla temaslı turmetre ile ölçülmektedir. Son ölçümde sekonder darbeli kırıcı rotorunun 470 d/dk; tersiyer darbeli kırıcı rotorunun 640 d/dk hızla dönerek çalıştığı bilgisi öğrenilmiştir.

Çeneli kırıcılarda plaka yüzeyinde çatlak, kırılma veya deformasyon varsa, plakanın yenisiyle değiştirilmesi gerekir. Plakalar uzun ömürlü kullanım ve maliyeti düşürme açısından genellikle ters çevrilerek ikinci kez kullanılmaktadır. Çene plakalarının alt ve üst kısımlarında eşit şekilde aşınma olduğu durumlarda yeterli diş kalınlığı mevcutsa kullanıma devam edilebilir. Eğer sadece belirli bir bölge aşınmışsa ve diğer kısım hâlâ sağlam durumdaysa, plaka ters çevrilerek kalan sağlam yüzey kullanılabilir. Ancak plakaların hangi seviyede ters çevrileceği, kullanılan makine tipine, aşınma durumuna ve üretici tarafından önerilen bakım talimatlarına bağlıdır. Kullanılan C150 model çeneli kırıcının çene plakalarının %60 aşınmaya kadar dayanım sağlayabileceği ve bu seviyeye ulaştığında ters çevirme işleminin yapılmasının uygun olacağı bilgisi alınmıştır. Fabrika katalog verilerine göre başlangıç çeneli kırıcı plaka diş kalınlığının 60 mm olduğu bilinmektedir. Plaka dişlerinde mevcut aşınmanın plaka yüzeylerinde homojen olduğu görülmüştür. Verniyer aracılığıyla plaka dişli kalınlık ölçümlerinde diş kalınlığı derinlik 48 mm olarak kaydedilmiştir. Bu durumda dişlerde %25 aşınma gerçekleştiği ve kullanıma devam edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çeneli kırıcı plakalarının mevcut durumuna ait görsel Şekil 4.21' de verilmiştir.



Şekil 4.21. Çeneli Kırıcı Plakaları

Çeneli kırıcıda malzeme olarak çeneler için yüksek manganlı çelik (Hadfield Çeliği) kullanıldığı, ayrıca analiz olarak Cr, Mo, V, Ni gibi ilave elementlerin de aşınma dayanımlarını arttırabilmek için kullanıldığı katalog bilgisinden öğrenilmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki

sertlik ve aşınma dayanımını arttırmayı amaç edinen fazladan ilave edilen uygulamalar çenelerin normal kullanım ömrünü tamamlamadan kırılmalarına neden olabilmektedir. Kalker ve kireçtaşı için manganlı dökümlerde ortalama aşınma miktarı 25 – 50 gr/ton olarak kabul edilmektedir. Yüksek aşındırıcılığı olan malzemelerde bu miktar 500 gr/ton' a kadar ulaşabilir.

Sabit ve hareketli çene plakaları arasındaki açığa kıştırma açısı denir ve makineye besleme anında plakaların malzemeyi ezerken yakalamasına imkân verecek şekilde optimize edilir. Kıştırma açısında belirli değerlerin dışında malzeme zor kavranacağından çeneler geri tepme yapar ve kırma kapasitesi düşer. Kıştırma açısı üretim aşamasında plakalar optimum aralıkta kalacak şekilde tasarlanmıştır. Kıştırma açısının farklı yedek astar konfigürasyonları ile de revize edilebildiği, çeneli kırıcının veriminde bir düşüş fark edilirse açığı iyileştirmek için yeni bir aşınma astarı gerekebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca çeneler arasındaki besleme ağız açıklığı beslenecek malzemenin maksimum boyutundan en az bir buçuk kat daha büyük genişlikte ayarlanmalıdır. Böylece iri taşların ağızda tıkanıklık oluşturması önlenmiş olacak, sürekli besleme ile kapasite artacaktır.

Darbeli kırıcıların darbe uçlarının değişim zamanı ile ilgili olarak şekli, boyutu ve yüzeyindeki aşınma durumu gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde uç yüzeylerinde kısmi derecede yuvarlanmalar tespit edilse de ileri derecede kırık, çatlak ve şekil bozukluğuna rastlanılmamıştır. Genel manada darbe uçları kullanılan malzeme türüne, kırıcının çalışma koşullarına ve kullanılan uç tipine göre 500-1000 çalışma saati arasında değiştirilmektedir. Fabrika katalog verilerine göre darbe uçları %30-40 oranında aşındığında ya da kalker için 800 saatlik kullanımda değiştirilmesi gerektiği öğrenilmiştir. Tesis çalışanlarından alınan bilgi ile hem sekonder darbeli kırıcının hem de tersiyer darbeli kırıcının darbe uçlarının haftalık periyotlarda kontrol edildiği ve yıpranmaya bağlı olarak yaklaşık bir aylık periyotlarda değiştirildiği öğrenilmiştir. Darbe uçlarının kırıcıya giren malzeme ile sürekli temasta olup, yüksek derecede aşınmaya uğraması nedeniyle kırma verimliliğini sürdürmek için fabrika verilerine uygun zaman aralıklarında değişimlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir.

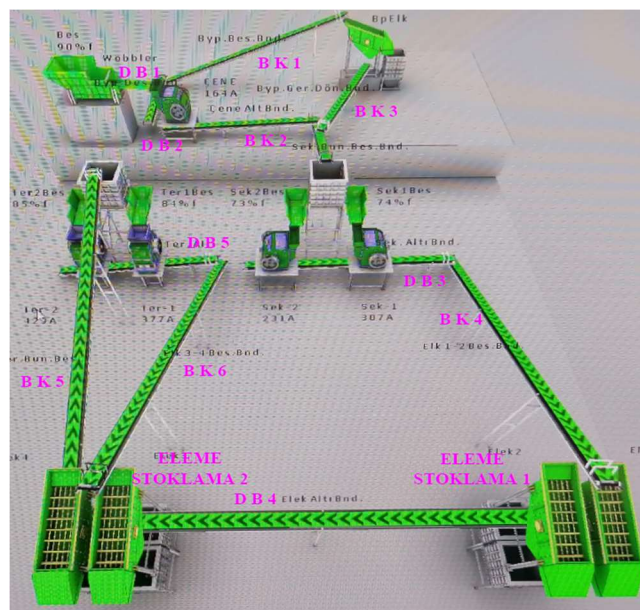
Tesis çalışanlarından gerek titreşimli besleyici gerekse wobblers besleyicinin; yay, kayış, dişli, şaft, zincir, bilye, süspansiyon, rulman ve destek araçları gibi elemanların yağlanma, bakım periyotları ve motor kontrol süreleri bilgileri alınmıştır. Darbeli kırıcı motorlarına ait kayışların 6 aylık periyotlarla değiştirildiği öğrenilmiştir. Genel olarak, bu tip kırıcılarda lastik kayışlarının malzeme türü, ortam şartları kullanım koşulları gibi etkenlere bağlı olarak 1000 – 2000 saat arasında çalışabildiği bilinmektedir. Tesisin üç vardiya halinde günde 24 saat çalıştığı, her vardiyada 1 saat mola olduğu durumu düşünülerek günde 21 saat aktif olan makine ve sistemler yılda 288 gün faaliyet göstermektedir. Bu durumda kırıcı motor kayışlarının

potansiyel olarak yılda 6000 saat çalıştığı hesaplanmıştır. Makine katalog bilgilerine göre aşınma, kopma veya deformasyon gibi sorunların önceden tespit edilmesi amaçlı her 1700 saatlik çalışma süresi veya her 3,5 ayda bir kontrolü önerilmiştir. Ayrıca kayışlarda aşınma, çatlama veya yıpranma belirtileri, sertleşme, esneklik kaybı ya da renk değişimi varsa kayışlar değiştirilmelidir. Kayışlar üzerinde yağ, su veya kir birikmesi kayışın kayma yapmasına ve aşınmasına neden olur. Bu nedenle mümkün olduğunca kayışların temiz ve kuru çalışması sağlanmalıdır.

Darbeli kırıcıda yüksek redüksiyon oranı elde etmek için rotor hızını artırmak yerine elek üzerinde kalan malzemeyi kırıcıya geri dönüş yaptırmak önerilmiştir. Böylece elde edilen ürünün aşırı tozlu olması ve kırıcı ünitelerin fazla aşınması önlenmiş olur. Ayrıca toz oluşumunu ve filler miktarını azaltmak için su püskürtme sistemleri kullanılabilir.

4.8. Bant Konveyör Analiz ve Ölçümleri

Tesiste toplam motor gücü 78 kW olan 5 adet deşarj bandı ve toplam motor gücü 269 kW olan toplam 11 parça taşıma bandı kullanılmaktadır. Kırma eleme birimlerinde; bant genişliği 1,2 m olan taşıyıcı bantların toplam uzunluğu 199 m ve bant genişliği 1,4 m olan taşıyıcı bantların toplam uzunluğu ise 42,5 m dir. Tesiste kullanılan taşıma bantları, taşınan malzeme özelliklerine bağlı olarak hem bant yönlendirme ve dengelemenin hem de yanlara kayma ve deformasyon riskinin azaltılması amacıyla üçlü makara düzenindedir ve EP500 model kategorisindeki bu bantlar 500 N/mm (Newton/mm)' lik bir çekme dayanım kapasitesine sahiptir. Şekil 4.22' de verilen otomasyon ekranında görülen taşıma bantlarının özellikleri Tablo 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.22. Otomasyon Ekranı Taşıma Bantları Yerleşim Şeması

Tablo 4.8. Tesiste Kullanılan Bant Konveyörlere Ait Özellikler

Konveyör Kodu	Motor Gücü (kW)	Boyut (m)	Görevi
DB1	15	1.2*3.5	Çeneli kırıcıya girmeden wobblers biriminde ayrılan ekonomik değeri olmayacak moloz, pasa ve by-pass dolgu malzemenin eleme ve stoklama birimine taşınması
BK1	30	1.2*27	Çeneli kırıcıya girmeden wobblers biriminde ayrılan ekonomik değeri olmayacak moloz, pasa ve by-pass dolgu malzemenin eleme ve stoklama birimine taşınması
DB2	22	1.4*7.5	Çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra sekonder darbeli kırıcıya malzeme iletiminin sağlanması
BK2	30	1.4*35	Çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra sekonder darbeli kırıcıya malzeme iletiminin sağlanması
DB3	30	1.2*8	Sekonder darbeli kırıcıda kırılan malzemeyi birinci eleme ve stoklama birimine taşınması
BK3	15	1.2*13	DB1 ve BK1 tarafından taşındıktan sonra elenen pasa malzemedden elek üstü malzemeyi sekonder darbeli kırıcıya taşınması
DB4	22	1.2*19.5	Birinci eleme ve stoklama biriminde elendikten sonra elek üstü kalan malzemenin ikinci eleme ve stoklama birimine taşınması
BK4	30	1.2*44	Sekonder darbeli kırıcıda kırılan malzemeyi birinci eleme ve stoklama birimine taşınması
DB5	15	1.2*8	Tersiyer darbeli istenilen boyuta getirilen malzemenin tekrar ikinci eleme stoklama birimine taşınması
BK5	22	1.2*32	İkinci eleme ve stoklama biriminde elendikten sonra elek üstü kalan malzemenin tersiyer darbeli kırıcıya taşınması
BK6	30	1.2*44	Tersiyer darbeli istenilen boyuta getirilen malzemenin tekrar ikinci eleme stoklama birimine taşınması

Bantların makaralarında yüksek derecede gerginlik olması durumunda aşırı yüklenme olur ve makaralar dönmekte zorlanır. Bu durum makaralarda ısınmaya neden olacaktır. Bantlı konveyör makaralarındaki rulmanların çalışma sıcaklığının pratikte 40°C ile 60°C arasında olması, rulmanların düzgün çalıştığı anlamına gelmektedir. Makaralar 80°C' nin üzerinde bir sıcaklıkta çalışıyorsa yüksek sıcaklıkta çalıştığı anlamına gelmektedir. Farklı konveyör birimlerinde 10 değişik makarada yapılan sıcaklık ölçümlerinde, makaraların çalışma sıcaklıklarının 40°C - 55°C arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca konveyör batları ve bağlı parçalarda normalin dışında ses ya da gürültüye, bant hızında dalgalanmaya rastlanılmamıştır.

Bantların yüzeyindeki olası çatlama, delinme veya aşınma gibi hasar durumlarına ilişkin yapılan kontrollerde belirgin seviyede yıpranma, merkezden kayarak hareket etme ve eğrilğe rastlanılmamıştır. Üretici firmadan alınan bilgiye göre konveyör bandı üzerinde belirli bir mesafe aralığına baskı yapılarak bandın ne kadar esnediğinin gözlemlenmesi şeklinde yapılan gerginlik kontrolünde 1 m bant aralığında 5-10 mm esneklik normal kabul edilmektedir. Tüm

bant konveyörlerde yapılan bu testte minimum 6 mm, maksimum 14 mm esneklik olduğu tespit edilmiştir.

Konveyör bandının hareketini sağlayan tahrik tamburu ve geri dönüş tamburları ile tamburların dönmesini sağlayan rulmanlar sistemde bakım ve kontrol gerektiren diğer önemli bileşenlerdir. Aşırı yük, yüksek sürtünme oranı, yağsız çalışma, toz, kir veya düzensiz tahrik kuvveti, tamburlarda ve rulmanlarda meydana gelebilecek sorunların başlıca sebepleridir. Otomatik yağlama sistemi ile düzenli olarak yağlanması yapılan parçaların tozdan korunması için özellikle tamburlar ve rulmanlarda koruyucu kapaklar ile rulmanların her iki tarafında konumlandırılmış lastik koruma ringleri ve fırçalar kullanılmaktadır. Tambur ve rulmanların gözle yapılan kontrollerinde dış yüzeylerde hasar, çatlak ve deformasyona rastlanılmamıştır. Tamburlarda sıkışıklık veya dönmeye engel bir duruma ve dengesiz yük dağılımından dolayı aşınmaya rastlanılmamıştır. Tamburların etrafındaki toz koruma kılıfları ve muhafazalarında herhangi bir deformasyona rastlanılmamıştır.

Bant genişliğinin ve gergi kuvvetinin düşük tutulması birim zamanda taşınan malzeme miktarını düşürmüyorsa, konveyör sisteminde en önemli yatırım ve masraf unsuru olan bant maliyetinden böylece tasarruf edilmiş olur. Bu nedenle konveyör hızları aşağıda belirtilen koşullar elveriyorsa Tablo 4.9' da verilen hızlardan daha yüksek seçilebilir.

1. Besleme ve boşaltma noktalarında malzeme aynı yön ve hızlarda banda aktarılıyorsa,
2. Malzeme topak veya parça büyüklüğü küçükse,
3. Bandın gergi değerleri doğru uygulanmışsa,

Tablo 4.9. Konveyör Bant Hızları

TAŞINACAK MALZEME	BANT HIZI (Metre/Dakika)	BANT GENİŞLİĞİ (mm)
Tane Yapılı veya Akışkan Malzemeler	120	450
	180	600-750
	240	900-1000
	300	1200-2400
	360	2700-3000
Kömür, Islak kil, Yumuşak cevher, Toprak, İnce kırılmış taş	180	450
	240	600-900
	300	1000-1500
	360	1800-2400
	420	2700-3000
Ağır ve sert malzemeler, Keskin kenarlı cevher, İri taneli kırılmış taş	120	450
	180	600-900
	240	1000-1500
	300	1800-2400
	360	2700-3000
Dökümhane kumu, Elek altı kum	100	Tüm Genişlikler

Aşındırıcı olmayan malzemeler	60	Tüm Genişlikler
Silo veya bunkerlerden beslenen ince taneli aşındırıcı olmayan veya az aşındırıcı malzemeler	15-30	Tüm Genişlikler
Linyit kömürü, Yapışkan kıvamlı çamur	150-200	Tüm Genişlikler
Kömürde üretim yapan termik santrallerdeki bantlı konveyörler	150	Tüm Genişlikler

Tesiste mevcut bant konveyör sistemlerinde bulunmayan frekans invertörü kullanılması ile sağlanabilecek faydalar aşağıda belirtilmiştir;

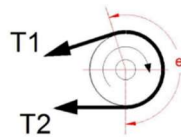
- Elektrik motorlarının hızını kontrol etmek için kullanılan dönüştürücüler olması nedeniyle bant konveyör sistemlerinde enerji verimliliği sağlanacak, bakım maliyetleri azaltılacak, motor ömrünü uzayacak ve sistem performansı artacaktır.

- Motorun beslediği AC (alternatif akım) değerinin kontrolü ile motorun hızının ayarlanması sayesinde taşıma hızının esnek bir şekilde kontrol edilmesi ve sistemin daha verimli çalışması sağlanacaktır.

- Konveyör bantlarında, motorun aniden başlatılması veya durdurulması, yani ani hız değişimleri mekanik stres oluşturabilir ve bant ya da diğer bileşenlere zarar verebilir. Frekans invertörü kullanılması, motorun hızını kademeli olarak artırarak veya azaltarak bu tür darbeleri engeller. Bu da hem bant ömrünü uzatacak hem de diğer bileşenlerdeki aşınmayı azaltacaktır.

- Motorun hızını kontrol ederken aşırı ısınmayı da engeller. Düşük hızda çalışan motorlar daha az ısınacak, bu da motorun ömrünü uzatacaktır.

Tesiste kullanılan bant konveyörlerin tahrik tamburları ve geri dönüş tamburları incelenmesinde, taşınan ağır malzemelerin tahrik tamburunun patinajına yol açabilecek önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Bu tür ortamlarda, taş, kaya, moloz veya kum gibi ağır ve sert malzemeler taşınırken, tahrik tamburunun bu yoğun yükleri taşıma kapasitesi zorlanmaktadır. Bir konveyörde tahrik tamburu patinaj yapıyorsa, değişik çözüm yolları uygulanabilmektedir. Fark gerilimini artırmak uygulanabilecek yöntemlerden biridir. Bunun için öncelikle sarım açısı θ' yı büyütme en etkin yoldur. Bu amaçla tahrik tamburunun hemen altına yerleştirilen ilave tambur vasıtasıyla bant sarım açısı 260 dereceye (4.5 Radyan) kadar artırılabilir. Bu durumda;



Tamburun banda uyguladığı çekiş (sürükleme) kuvveti, aşağıdaki Formül 4.2 ile tahmin edilir:

$$Fark gerilimi (T_1 - T_2) \leq \mu \cdot T_2 \cdot e^{\theta\mu} \quad (4.2)$$

- T1: Bandın tahrik tamburuna girişteki gerilimi (yüksek)
- T2: Çıkıştaki gerilimi (düşük)
- μ : Bant ile tambur arasındaki sürtünme katsayısı
- θ : Sarım açısı (radyan cinsinden)
- e: Euler sabiti (~ 2.718)

Bu formülden türetilen oran: $T_1 / T_2 = e^{(\mu \cdot \theta)}$ tamburdan banda aktarılabilecek maksimum çekiş oranını verir. Yani $\mu = 0.35$ (kauçuk bant ve çelik tambur) ve

$$\theta = \pi (180^\circ) \text{ için, } T_1/T_2 = e^{0.35 \times \pi} \approx e^{1.1} \approx 3.0$$

$$\theta = 4.5 \text{ rad } (\approx 260^\circ) \text{ için, } T_2/T_1 = e^{0.35 \times 4.5} \approx e^{1.575} \approx 4.83$$

Sarım açısını $180^\circ \rightarrow 260^\circ$ artırarak ($\pi \rightarrow 4.5$ rad), Tamburun çekiş oranı yaklaşık %60 ($3.0 \rightarrow 4.8$) artacaktır.

Patinajı gidermek için bir diğer etkin yol sürtünme katsayısını arttırmaktır. Bunun için tahrik tamburunun yüzeyine uygun bir kaplama eklenerek, bant ile daha fazla sürtünmesi sağlanabilir.

Konveyör üretici firmadan alınan bilgiye göre, bantlı konveyörlerde yıllık bakım masraflarının ilk yatırım maliyetinin %2' si civarında olduğu öğrenilmiştir. Ancak bu masraflara bant değişim maliyetleri ilave edilmemiştir. Aşındırıcı olmayan malzemelerin taşınmasında bantların ömrü 10 yıla kadar olmakla birlikte, keskin kenarlı, aşındırıcı kaya ve taş türü malzemelerin taşınmasında bant ömrü maksimum 5 yıla kadar düşmektedir.

Yıpranan konveyör bandının tamamen değiştirilmesi ya da onarım yapılması belirli aşağıdaki kriterlere göre verilmesi gereken bir karardır;

- Bant değişimi yeni malzeme temini, iş gücü, montaj ve sistemin yeniden devreye alınması gibi unsurları içerir.

- Değişim süreci onarıma göre daha pahalı olabilir ancak yeni bir konveyör bandı, eskisine göre daha verimli olabilir ve üretimdeki aksaklıkları azaltabilir.

- Ayrıca bandın tamamen değiştirilmesi, sistemin daha uzun süre verimli çalışmasını sağlayabilir.

- Küçük hasarlar, çatlaklar, delikler veya yüzey aşınmaları onarılabilirken, büyük yapısal hasarlar veya aşırı aşınma durumlarında bandın değiştirilmesi daha uygun olacaktır.

- Bantlarının üzerinde küçük çatlaklar, delikler veya hasarlar oluştuğunda, hasar gören bölgenin tamiri amaçlı kauçuk kaynak veya vulkanizasyon işlemi uygulanabilir. Bu işlem orijinal bant yapısına yakın bir dayanıklılık kazandırmaktadır.

- Diğer bir onarım yöntemi ise dikiş ve yapıştırma'dır. Bant yüzeyinde oluşan küçük delikler ve yırtıklar için özel yapıştırıcılar veya dikiş yöntemleri kullanılabilir olsa da bu yöntem geçici bir çözüm olup ciddi aşınmalarda yeterli olmamaktadır.

Konveyör bandı değişimi ve onarımı arasındaki maliyet analizi, bir taş kırma tesisinde, işletme maliyetlerini optimize etmek için oldukça önemli bir adımdır. Bu analiz, öncelikle hasarın büyüklüğü, işletme koşulları ve bant ömrü gibi faktörlere dayanarak yapılmalıdır.

Belirli parametrelere göre konveyör bandı değişimi ve onarımı arasındaki değerlendirme Tablosu 4.10' da verilmiştir.

Tablo 4.10. Konveyör Bandı Değişim ve Onarım Değerlendirme Tablosu

Maliyet Kalemi	Onarım (metre/TL)		Değişim (metre/TL)		Açıklama
Başlangıç Maliyeti	Düşük (onarımaya yönelik malzeme işçilik maliyetleri)	7.000	Yüksek (yeni bant, işçilik ve ekipman maliyetleri)	50.000	Malzeme ve ekipman
İşçilik Maliyeti	Daha düşük, çünkü süreç daha kısa sürer	3.000	Daha yüksek, çünkü süreç uzun ve karmaşık olabilir	3.000	Onarım: 6 saat, Değişim: 24 saat
Zaman Kaybı / Duruş	Daha kısa, genellikle saatler içinde tamamlanır.	1.000	Daha uzun, birkaç gün sürebilir	12.000	Saatlik kayıp: 500 TL
Malzeme Maliyeti	Daha düşük, çünkü yalnızca hasar gören bölge onarılır	5.000	Daha Yüksek, çünkü bant komple yenilenir	50.000	Onarımda lokal, değişimde tüm bant
Uzun Vadeli Performans	Daha düşük, çünkü geçici bir çözüm sunar	5.000	Daha yüksek, çünkü bant uzun süre dayanacak şekildedir.	0	Onarım geçici, yılda +10.000 TL kayıp varsayımı
Bakım İhtiyacı (yıllık)	Daha sık onarım gereklidir	8.000	Daha az bakım ihtiyacı	2.000	Onarımda sık, değişimde az bakım
Toplam		29.000		117.000	

Onarım genellikle daha düşük maliyetli ve hızlı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Çünkü konveyör bandının tamamı yerine sadece hasarlı bölgeyi düzeltmek, küçük çatlaklar, delikler veya yüzey aşınmaları onarım işlemi ile halledilebilir ve birkaç saat içinde tamamlanabilir.

Kullanılan eleklerde, cıvatalı konstrüksiyona sahip elek gövdesi, kayış-kasnak çifti ve kardan mafsal şaftlı tahrik sistemi, motor koruma muhafazası, mil yataklamasında kullanılan çift sıralı ağır hizmet tipi oynak masuralı rulmanlar, sıvı yağlı yataklama sistemi, eleği şasiye bağlamak için kullanılan ağır hizmet tipi helisel yaylar, ayarlanabilir titreşim genliği, aşınmaya dayanıklı astar ile kaplı oluklar, tel değişim süresini kısaltan özel tel gergi sistemi, çelik profilden imal edilmiş şasi özellikleri bulunmaktadır.

Krank sistemi ve dişlilerin diş durumlarının kontrollerinde herhangi aşınma, çatlama veya korozyona rastlanılmamıştır.

Elektrik motoru, krank mekanizması, yay ve diğer denge elemanlarından oluşan tahrik tablaları, eleklerin üst yüzeyini titreştirerek malzemenin elek üzerindeki hareketini sağlar. Bu titreşim, malzemenin daha hızlı ve verimli bir şekilde ayrılmasına yardımcı olur. Tahrik tablasının düzgün çalışması için titreşimlerin dengelemesi çok önemlidir. Aksi takdirde, dengesiz titreşimler eleğin ömrünü kısaltacak ve istenmeyen sonuçlar doğuracaktır.

Eleklerin dengeli ve düzgün titreşim yapabilmesi için kolay değiştirilebilir helezon çelik yayların tercih edildiği görülmüştür. Sürekli hareket halinde olan yayların zamanla esnekliğini kaybedeceği veya korozyon olasılığına karşın, elastik sistem elemanı olarak helezon çelik yay yerine özel olarak üretilmiş kauçuk takoz veya kauçuk elemanların kullanılabileceği belirtilmiştir. Helezon çelik yayların elek ve besleyicilerde en çok kullanılan ve en ekonomik elastik sistem elemanı olarak bilinmesi ile birlikte, kauçuk takozların çelik yaylara göre bazı avantajları bulunmaktadır.

- Kauçuk yayların yay oranı üzerine etkiyen yüke göre değiştiği için değişken yüklerde sabit doğal frekans sağlar, dolayısıyla iyi bir izolasyon sağlar.
- Yüksek yük taşıma kapasiteleri vardır.
- Yatay yöndeki yay oranı düşey yöndekine göre daha düşük olduğu için yatay yönde iyi bir izolasyon sağlar.
- Nemli ve korozif ortamlarda çelik yaylara göre daha verimlidir.
- Daha az ses üretirler.

4.10. Elektrik Motorları ve Tesisat Analiz ve Ölçümleri

Tesiste faaliyet gösteren besleme, kırma, eleme, bant konveyör ve kompresör gibi makine ve teçhizatlarda; 7,5 kW' lik 4 adet, 15 kW' lik 5 adet, 22 kW' lik 4 adet, 30 kW' lik 10 adet, 250 kW' lik 5 adet 3 fazlı asenkron elektrik motoru kullanılmaktadır. Kullanılan motorlara ait teknik özellik verileri Tablo 4.11' de verilmiştir.

Tablo 4.11. Elektrik Motorları Teknik Özellikleri

Model No	GM2E 160 L 4b (B3)	GMM2E 355 M 4a (B3)	AGM2E 200 L 4a (B3)	GM2E 315 H 4f (B3)	AGM2E 132 M 4b (B3)	GM3EL 180 L 4b (B3)
Cihaz Tipi	Asenkron Motor	Asenkron Motor	Asenkron Motor	Asenkron Motor	Asenkron Motor	Asenkron Motor
Faz Tipi	3 Faz	3 Faz	3 Faz	3 Faz	3 Faz	3 Faz
Güç (kW)	15 kW	250 kW	30 kW	250 kW	7,5 kW	22 kW
Çalışma Voltajı (V)	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V	400/690 V
Frekans (Hz)	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Çalışma Şekli	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Güç Faktörü (Cosφ)	0,8	0,85	0,87	0,83	0,76	0,87
Kutup Sayısı	4	4	4	4	4	4
Hız	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk	1500 d/dk
Motor Verimi	90,60%	95,10%	92,30%	95,10%	88,70%	93%
Verim Sınıfı	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2	IE2
Koruma Sınıfı	IP55	IP55	IP55	IP55	IP55	IP55

Kullanılan elektrik motorlarının tamamı IE2 verim sınıfında olmakla birlikte en az verimli (88,70%) motor ile en yüksek verimli (95,10%) arasında 6,40% fark bulunmaktadır. Motorların sürekli çalışma durumu göz önüne alındığında yıl bazında ciddi enerji tüketim farkı ortaya çıkmaktadır.

Motor verimi hakkında bilgi veren bir diğer parametre ise güç faktörüdür. Gerçek gücün görünür güce oranı olarak hesaplanan güç faktörü alınan enerjinin ne kadarının mekanik işe dönüştüğünü ne kadarının ise sadece görünürde tüketildiğini gösterir. Güç faktörü 1' e ne kadar yakınsa motor o kadar verimli çalışıyor anlamına gelmektedir. Düşük güç faktörü sistemde reaktif gücün fazlalığını ve şebekeden gereksiz enerji çekildiğini ifade eder. Sanayi tesislerinde güç faktörünün düşük olmasından kaynaklı şebekeye fazladan yük bineceğinden enerji iletiminin zorlaşması nedeniyle reaktif güç bedeli ödenmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu' nun güncel "elektrik piyasası müşteri hizmetleri yönetmeliği "16. Maddesinde belirtildiği üzere; "Kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar, çektikleri aktif enerji miktarının %20 aşacak şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde %15 aşacak şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür." denilmektedir. Güç faktörünün düşürülmesi amacıyla yüksek verimli motor kullanımının yanı sıra mümkün olduğunca tam yükte çalışma (boşta çalışma güç faktörünü düşürür) ve kompanzasyon sistemleri gibi tedbirler alınarak güç faktörü olabildiğince 1' e yaklaştırılmaktadır.

Tablo 4.9 incelendiğinde güç faktörü en düşük olan motor 0,76 ile AGM2E 132 model motordur.

P: 7,5 kW Gerçek Güç Değeri

Cos ϕ 1: 0,76 (düşük) Güç Faktörü

Cos ϕ 2: 0,95 (iyileştirilmiş) Güç Faktörü

V: 400 Volt Gerilim

t: 21 saat Günlük Çalışma Süresi

T: 288 gün Yıllık Çalışma Günü olmak üzere motora ait görünür güç formülleri 4.3 ve 4.4' te verilmiştir.

$$S1 = \frac{P}{\cos \phi 1} 7,5 \text{ kW} / 0,76 = 9,86 \text{ kVA (Düşük Güç Faktörü)} \quad (4.3)$$

$$S2 = \frac{P}{\cos \phi 2} 7,5 \text{ kW} / 0,95 = 7,89 \text{ kVA (İyi Güç Faktörü)} \quad (4.4)$$

Yıllık Görünür Enerji Tüketimi Formül 4.5 ve 4.6 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Düşük Güç Fak. } E1 = 9,86 \text{ kVA} * 21 \text{ saat} * 288 \text{ gün} = 59.684 \text{ kVAh} \quad (4.5)$$

$$\text{İyi Güç Fak. } E2 = 7,89 \text{ kVA} * 21 \text{ saat} * 288 \text{ gün} = 47.747 \text{ kVAh} \quad (4.6)$$

Şebekeye fazladan yük ve olası ceza nedeni fark güç Formül 4.7 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta E = 59,63 \text{ kVAh} - 47,72 \text{ kVAh} = 11.397 \text{ kVAh} \quad (4.7)$$

Yukarıda hesaplama yöntemlerinden yola çıkarak tesiste bulunan tüm elektrik motorlarının 1 yıllık reaktif güç hesaplaması yapıldığında, iyi bir kompanzasyon sistemi ile kompanze edilmediği senaryoda 1.429.222 kVAh reaktif güç oluşacağı hesaplanmıştır. Tesiste kullanılan motor özellikleri ve kompanzasyon sistemi ile iyileştirmeler yapılarak Tablo 4.4' de verilen tesisin son 2 yıllık tüketim verileri incelendiğinde toplamda 275.568,24 kWh endüktif reaktif, 77.081,84 kWh kapasitif reaktif güç değerleri oluştuğu görülmektedir. Yine aynı tabloda toplam aktif güç tüketiminin 14.100.825,61 kWh olduğu görülmekte ve tesisin kompanzasyon sisteminin verimli çalıştığı tespit edilmektedir.

Tesiste kullanılan temel motorlarda değişken hız sürücü / VSD (Variable Speed Drive) olarak frekans konvertörü uygulandığı görölmektedir. Frekans konvertörü ile frekansın değiştirilmesi motor hızının da değiştirilerek kontrol edilmesini sağlamaktadır.

n: Motor Hızı (devir/dakika)

f: Şebeke Frekansı (Hz)

p: Kutup Sayısı olmak üzere; asenkron motorda hız hesabı Formül 4.8' de verilmiştir.

$$n = (120 \cdot f) / p \quad (4.8)$$

Frekans konvertörü ile motor kalkış akımı sınırlandırılarak motor ömrünün uzatılmasının yanı sıra ihtiyaca göre hız ayarı, yumuşak kalkış ve duruş ve mekanik aşınımın azalması gibi bileşenleri bir araya getirerek sürecin verimliliğine büyük ölçüde katkı sağlanmaktadır.

3 faz beslemelerin tamamında akım kesme kapasitesi birbiriyle uyumlu sigortaların kullanıldığı, aşırı amperaj veya gevşek bağlantı sonucu ark oluşumuna bağlı gevremiş kablo izolasyonları ve oksitlenmiş kablo pabuçları olmadığı görölmüştür. Ayrıca Elektrik panoları içinde tüm şalter girişlerindeki kabloların izolasyonunun orijinalliğini koruduğu, hiçbir kablounun oksitlenmeye bağlı olarak pano içi bağlantılarını riskli hale getirmediği tespit edilmiştir. Tesis ait örnek pano içi görünüm Şekil 4.24' te verilmiştir.



Şekil 4.24. Pano İçi Görünüm

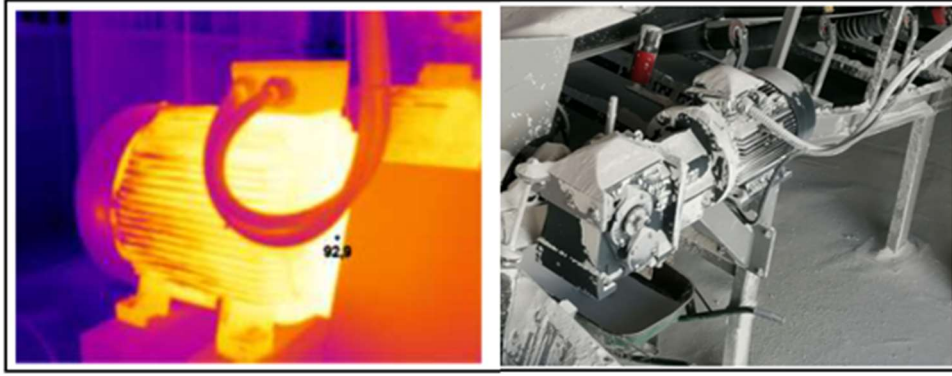
Elektrik sistemlerinde enerjinin üretilmesi ve dağıtılması sırasında Akım ve Gerilimin 50 Hz temel frekansta ve sinüzoidal dalga şeklinde olması ideal hedeftir. Ancak gelişen güç elektroniği teknolojisi ile işletmelerdeki tristörlü tüm yükler, çalışma karakteristiklerinden

kaynaklı çeşitli frekans seviyelerinde akımların oluşmasına ve gerilim indüklenmesine sebep olurlar. Bu şekilde oluşan ve sinüzoidal dalga formundan uzaklaşan dalgalara harmonik adı verilmektedir. Genelde AC hız kontrol cihazları, yumuşak yol vericiler, DC motorlar, kesintisiz güç kaynakları, elektroliz üniteleri, ark ocakları, elektronik balastlı armatürler, bilgisayar vb. ofis cihazları harmonik sebebi olarak görülse de kompanzasyon amacıyla kullanılan güç kondansatörleri de ciddi manada harmonik üretebilmektedirler. Şebeke üretece bağlı bir endüktans olarak düşünülürse, kondansatör bir paralel rezonans devresi oluşturur. Böylece Kondansatörlerin devreye alınmasıyla bir sirkülasyon akımı ve rezonans frekansı oluşur. Paralel devrenin direncinin bu frekansa doğru orantılı olarak artması ile kondansatör ve şebekeye ciddi akım ve gerilimler düşer. Bu durumun ortaya çıkaracağı zararlardan bazıları şunlardır; elektromekanik cihazlarda ısınma, termik-manyetik şalter ve rölelerin stop etmesi, makinelerde mekanik titreşimler, CAD/Cam terminallerinde hafıza silinmesi, kondansatörlerde güç kayıpları ve patlamalar, kondansatör kademelerinde sigorta atması, enerji nakil hatlarında dalgalanmalar, enerji sayaçlarının fazla okuması nedeniyle tüketimin artması.

Tesiste harmonik ölçümü yapılmadığı tespit edilmiş ve yapılacak ölçümler ile tespit edilecek olası harmoniklerin giderilmesi için sisteme paralel bağlı kondansatörlerin önüne antiharmonik reaktörler bağlanması tavsiye edilmiştir. Reaktör seçilirken LC devresinin seri rezonans frekansının filtrasyon yapılacak harmonik frekans mertebesinde küçük olmasına dikkat edilmelidir. Böylece $X_L = X_C$ hesabından sistemin empedansı 0'a eşitlenecektir.

Taş kırma motorları ve diğer toza maruz çalışan motorların rulman kontrolleri ve mekanik kontrollerinin düzenli yapıldığı görülmüştür. Ayrıca motor üzerindeki termistör ve PT100 ler devreye alınmış ve motorun bağlı bulunduğu otomasyon üzerinden sürekli takibi gerçekleştirilmektedir.

EFF2 sınıfı olan tüm motorlardan termal kamera ile yüzey sıcaklığı 50 °C' nin üzerinde olan motorlar tespit edilmiş olup, bu tip motorların büyük çoğunluğu toz, boya vb. gibi maddeler ile kaplanmış olup motorun kendini soğutamaması neticesinde bu sıcaklıklara maruz kaldığı düşünülmektedir. Motorlara ait örnek görsel Şekil 4.25' te verilmiştir.



Şekil 4.25. Motorlara Ait Görsel

Motor sıcaklıklarının motor verimlilik sınıfına bağlı olarak normalden yüksek olması motor ömrünü ve sargı ömrünü azaltmakta ve motor kayıplarını da (demir-bakır-sürtünme-ventilasyon) artırmaktadır. Bu durum motorlarda olması gerekenden daha fazla enerji tüketimine sebep olacaktır. Ancak tesiste faaliyet gösteren motorların büyük çoğunluğunun yüksek güç gerektiren mekanizmalara hareket verdiği göz önünde bulundurularak yüksek yükler çekmesi ile belirli limitlerde yüksek sıcaklıklarda çalışması olağan karşılanmaktadır.

30 kW'lık bant konveyör motorlarının enerji analizörü ölçümlerinde 3 + 3 toplam 6 adet motorun çektiği yükler sırasıyla Tablo 4.12' de verilmiştir. Bu motorlar yüke bağlı çalıştığı için yük değişimi ile birlikte değerlerde değişimler söz konusu olabilmektedir.

Tablo 4.12. Bant Konveyör Motorlarına Ait Örnek Enerji Ölçümleri

	Bant Konveyör Motor 1	Bant Konveyör Motor 2	Bant Konveyör Motor 3	Bant Konveyör Motor 4	Bant Konveyör Motor 5	Bant Konveyör Motor 6	Ölçüm Cihazı
R Fazı (kW)	2,28	4,08	2,6	2,48	2,5	3,8	Enerji analizörü, pens ampermetre
S Fazı (kW)	2,68	3,24	3,16	3,3	2,26	2,26	Enerji analizörü, pens ampermetre
T Fazı (kW)	2,9	2,4	2,48	2,84	2,6	2,6	Enerji analizörü, pens ampermetre
Toplam (kW)	7,86	9,72	8,24	8,62	7,36	8,66	Enerji analizörü, pens ampermetre

Tesis içerisinde tüm birimlerde eş zamanlı kullanıma başlamış elektrik motorlarının seçimleri yapılırken çalışılacak yükün tespitinde ve çalışma karakteristiğinin belirlenmesinde kurulum yapan firma ile analizler gerçekleştirilerek sürecin sürdürüldüğü tesis yetkililerince belirtilmiştir. Sürekli çalışan motorların tamamının premium verimli IE3 sınıfı motorlar ile değiştirilmesi durumunda ilk yatırım maliyeti ile enerji tasarrufu arasındaki ilişki ile

amortisman süresinin incelendiği proje Tablo 4.13' te verilmiştir. Tablodaki veriler ile 33 aylık geri dönüş süresi ile toplamda 3.788.000,00 TL tasarruf edileceği hesaplanmıştır.

Tablo 4.13. Mevcut Motorların Premium Verimli IE3 Sınıfı Motorla Değiştirilmesi Durumu Analiz Tablosu

ENERJİ TASARRUF PROJE DETAYLARI					
İŞİN AÇIKLAMASI	Kırıcı, Besleyici, Bant Konveyör, Elek ve Kompresör Hattındaki 7,5 kW' lik 4 adet, 15 kW' lik 5 adet, 22 kW' lik 4 adet, 30 kW' lik 10 adet, 250 kW' lik 5 adet 3 Fazlı IE2 Sınıfındaki Asenkron Elektrik Motorun IE3 Sınıfındaki Aynı Güçteki Motorlarla Değiştirilmesi				
Açıklama	Motor Tipi	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	USD
Motor Maliyeti	7,5 kW	4	22.000,00	88.000,00	2.514,29
Motor Maliyeti	15 kW	5	40.000,00	200.000,00	5.714,29
Motor Maliyeti	22 kW	4	50.000,00	200.000,00	5.714,29
Motor Maliyeti	30 kW	10	80.000,00	800.000,00	22.857,14
Motor Maliyeti	250 kW	5	400.000,00	2.000.000,00	57.142,86
İşçilik ve Diğer Giderler				500.000,00	14.285,71
TOPLAM				3.788.000,00	108.228,57
Yıllık Çalışma Süresi 6000 saat Yıllık Elektrik Tüketimi 7.050.000 kWh	Elektrik Birim Fiyatı 3,90 TL Yıllık Elektrik Tasarrufu 352.500 kWh	Yıllık Tasarruf (TL) 1.374.750,00 Geri Dönüş Süresi 33 Ay		Ortalama Verim Artışı 5%	

Tesis genelinde basınçlı hava üretimi için 2 adet 15 kW' lik, 12 m³/dk kapasiteli vidalı-sabit devirli kompresör bulunmaktadır. Basınçlı hava tesisatında yapılan incelemeler neticesinde genel olarak basınçlı hava kaçağı tespit edilmemiştir. Ancak devir ayarlı bir kompresör ile ihtiyaç duyulduğu kadar basınçlı hava üretilecek olup, bozta çalışma ile gereksiz enerji tüketimi önlenecektir. Basınçlı hava sistemlerinde kullanılan bir motorun ve hava tankının görseli Şekil 4.26' da örnek bir haftalık çalışma enerji ölçümü Tablo 4.14' te verilmiştir.



Şekil 4.26. Basınçlı Hava Motoru ve Tankı

Tablo 4.14. Basınçlı Hava Sistemlerinde Kullanılan 15 kW' lik Bir Motorun Örnek Bir Haftalık Çalışma Enerji Ölçümü

Gün	Boşta Süre (saat)	Yükte Süre (saat)	Boşta Tüketim (kWh)	Yükte Tüketim (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)
Pazartesi	3	5	3,75	8,33	12,08
Salı	3	5	3,75	8,33	12,08
Çarşamba	3	5	3,75	8,33	12,08
Perşembe	3	5	3,75	8,33	12,08
Cuma	3	5	3,75	8,33	12,08
Cumartesi	2	4	2,5	6,67	9,17
Pazar	1	2	1,25	3,33	4,58
Toplam			22,5	51,65	74,15

Tesis genelinde herhangi bir enerji izleme sistemi bulunmamaktadır. Ancak ana dağıtım panoları üzerindeki çoğu şalter üzerinde akım trafosu bulunmaktadır. Bunların verilerini bilgisayar ortamına alıp değerlendirecek bir programın olmaması tesisin tüketim değerlerini ölçememesine neden olmaktadır.

Tüm bu projelere ek olarak tüketilen enerjinin izlenmesi ve kayıt altına alınması amacıyla enerji izleme sistemi kurulması önerilmektedir. Enerji izleme sistemi üretimin her aşamasında birim üretime karşılık gelen kademe kademe enerji tüketim verilerini anlık olarak izleme, ölçme ve denetleme imkânı verecektir.

Tesiste yapılan çalışmaların; enerji verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla kurum ve kuruluşlara sistematik bir yaklaşım sunan ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) çerçevesinde programlı olarak organize edilmesi işlerliği ve sürekliliği artıracaktır.

4.11. Aydınlatma Analiz ve Ölçümleri

Saha aydınlatmasında IP 66 standardında, 180.000 lm (lümen) ışık akısı bulunan, 50.000 h (saat) çalışma ömürlü, IK09 darbe dayanıklılığında, 120 flux (lm/W) değerine sahip her biri 1500 W' lik, 0,9 güç faktörlü 18 adet LED aydınlatma projektörü ve iç ortam aydınlatmasında T5 model, 15° Cm, 80W, 5700 lümen/20000 saat 40 adet beyaz floresan lamba kullanılmaktadır.

Tesiste kalkerin ilk patlatmadan itibaren yükleme, taşıma ve kırma tesisine boşaltıldığı alanı kapsayan tüm sahada (dış ortam) gün ışığından yararlanılması nedeniyle gündüz aydınlatma ihtiyacı bulunmamaktadır. Yine besleyici, kırıcı ve eleklerin bulunduğu kapalı ortamların da yeterli miktarda gün ışığı almasından dolayı gündüz aydınlatma ihtiyacı bulunmamaktadır.

Taş kırma tesisleri gibi yüksek tavanlı ve geniş hacimli endüstriyel alanlarda, klasik hareket sensörü (PIR sensör) kullanımı, sensör menziline yetersiz kalması, toz, titreşim ve mekanik ekipmanların algılamayı engellemesi gibi bazı zorluklar içerir. Bu nedenle tesis aydınlatmasında açma/kapama elemanı olarak gün ışığı sensörleri kullanılmaktadır.

Tesiste kullanılan dış ortam LED aydınlatmaları IP 66 sınıfında, güçlü su jetine ve toza karşı tam koruma özellikli olmasına karşın yüzeyde biriken ve ışık geçirgenliğini düşüren toza karşı tam manasıyla önlem alınmamaktadır.

Tesiste iç ortam aydınlatmasında kullanılan T5 floresan lambaların, enerji verimli LED T5 tüpler ile değiştirilmesi durumunda elde edilecek enerji tasarrufu ve yatırımın geri dönüş süresine ait analiz Tablosu 4.15' te verilmiştir. Tablodaki hesaplamalara göre LED dönüşümü ile elektrik enerji maliyetinin yıllık 19.407,60 TL düşebileceği görülmektedir.

Tablo 4.15. Aydınlatmada LED Değişim Analiz Tablosu

Mevcut Durum (T5 Floresan)		LED Dönüşümü (36 W T5)	
Armatür Sayısı	40 adet	Güç Tüketimi (adet başı)	36 W
Güç Tüketimi (adet başı)	80 W	Toplam Güç	1.440 W (1,44 kW)
Toplam Güç	3.200 W (3,2 kW)	Aylık Enerji Tüketimi	414,7 kWh
Aylık Enerji Tüketimi	921,6 kWh	Aylık Elektrik Maliyeti	1.617,30 TL
Aylık Elektrik Maliyeti	3.595,20 TL	Yıllık Elektrik Maliyeti	19.407,60 TL
Yıllık Elektrik Maliyeti	43.142,40 TL		
Yıllık Elektrik Tasarrufu		23.734,80 TL	
LED Armatür Birim Fiyatı		750 TL (yaklaşık)	
Toplam Yatırım Tutarı		30.000 TL	
Amortisman Süresi		~1,26 yıl (15 ay)	
Yıllık Tasarruf ve Amortisman			

4.12. Dizel Araç Analiz ve Ölçümleri

Arazinin hazırlanmasından başlanarak, kalkerin yerinden sökülmesi ve patlatma sonrası büyük kayaçların ekskavatör ile delinerek parçalanması, kamyonlara kepçe ile yüklenmesi ve kırma tesisine getirilmesi işlemlerinde dizel yakıtlı iş makineleri kullanılmaktadır. Çalışacak olan araçların yakıt ihtiyaçları, benzin istasyonuna gidebilen araçlarda istasyona gitmek suretiyle diğer araçlarda saha içerisine getirilen yakıt tankerinden karşılanmaktadır. Yakıt tankeri sadece işletmede çalışacak olan araçların yakıt ihtiyacı olduğu zamanlarda sahaya

gelmektedir. Isınma amaçlı yakıt tüketimi olmamaktadır. İş makinelerinin yakıt ikmali sırasında oluşabilecek az miktardaki yakıt, kesinlikle alanda açıkta bırakılmamakta, sızdırmaz ve kapalı kaplar içerisinde biriktirilerek ruhsatlı bir benzin istasyonuna verilmektedir. Bu işlemler sırasında 12 Ağustos 1996 tarih ve 2240-5249 (96/18) sayılı ve 21.Kasım.1997 tarih ve 4473-7756 (97/22) sayılı “Petrol Atıkları ve Atık Yağlar Genelgesi” nin ilgili maddelerine uyulmaktadır.

Tesiste dizel yakıt ile çalışan 6 adet 2018 model 6x4 kamyon, 4 adet 2016, 2018, 2018, 2020 model paletli ekskavatör, 2 adet 2017 model yükleyici, 2 adet 2019 model lastik tekerlekli yükleyici araç ve 3 adet havalı delici (Vagon Drill) bulunmaktadır. Dizel yakıtlı iş makinelerinin güç ve yakıt etiket değerleri Tablo 4.16’ da verilmiştir.

Tablo 4.16. Dizel Yakıt ile Çalışan Araçların Güç ve Yakıt Etiket Değerleri

Cinsi	Adedi	Motor Gücü		Yakıt Sarfiyatı		
		kW	Hp	lt/saat	ton	TEP
Kamyon (500,19 Hp)	6	2238 kW	3001,15 Hp	32,5 lt/saat	0,027625 ton	0,028178 TEP
Paletli Ekskavatör (1260,54 Hp)	4	3760 kW	5042,16 Hp	58,33 lt/saat	0,049558 ton	0,050572 TEP
Yükleyici/İş Makinesi (312,45 Hp)	2	466 kW	624,9 Hp	8,75 lt/saat	0,007438 ton	0,007586 TEP
Lastik Tekerlekli Yükleyici (295,02 Hp)	2	440 kW	590,04 Hp	8,33 lt/saat	0,007081 ton	0,007222 TEP
Vagon Drill (Delici) (154,21 Hp)	3	345 kW	462,64 Hp	5,62 lt/saat	0,004777 ton	0,004873 TEP
	17	7249 kW	9720,9 Hp	113,53 lt/sat	0,096501 ton	0,098431 TEP

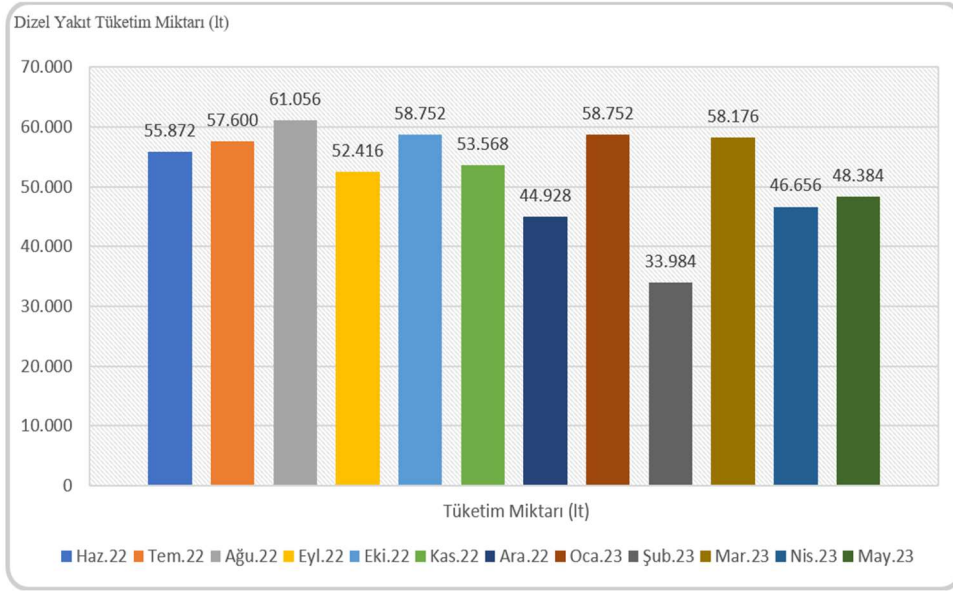
Tesiste 3 vardiya halinde 24 saat çalışma durumu göz önüne alındığında günün büyük bir bölümünde dizel yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Tesisin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemleri arası son 2 yıllık süreçteki dizel yakıt tüketim verileri Tablo 4.17’ de verilmiştir.

Tablo 4.17. Son 2 Yıla Ait Dizel Yakıt Tüketim Verileri

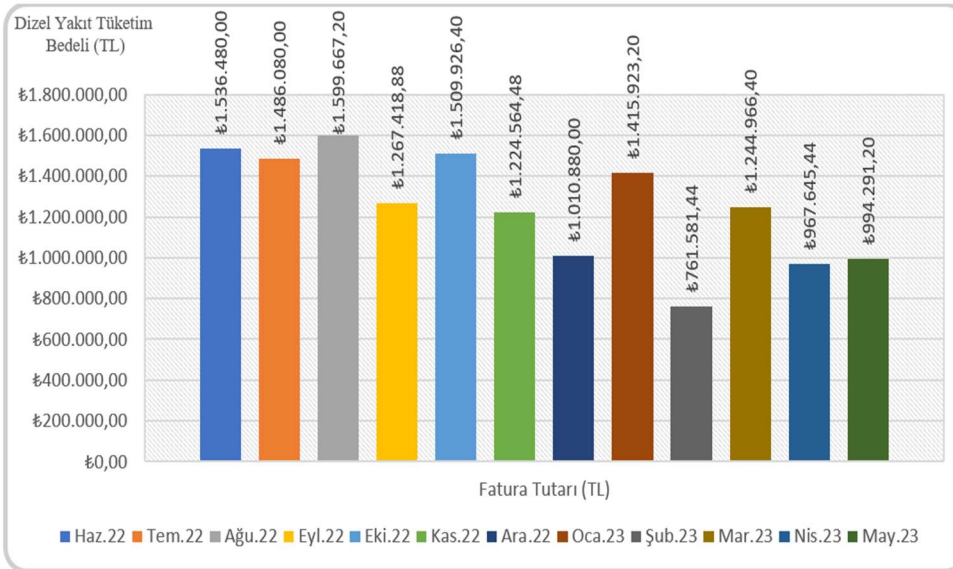
Dönemi	Tüketim Miktarı			Birim Fiyatı	Saatlik Ortalama Tüketim	Günlük Ortalama Tüketim	Tutar
Haziran 2022	55.872 lt	47,49 ton	48,44 tep	27,50 TL	97 lt	2.328 lt	1.536.480,00 TL
Temmuz 2022	57.600 lt	48,96 ton	49,93 tep	25,80 TL	100 lt	2.400 lt	1.486.080,00 TL
Ağustos 2022	61.056 lt	51,89 ton	52,93 tep	26,20 TL	106 lt	2.544 lt	1.599.667,20 TL
Eylül 2022	52.416 lt	44,55 ton	45,44 tep	24,18 TL	91 lt	2.184 lt	1.267.418,88 TL
Ekim 2022	58.752 lt	49,93 ton	50,93 tep	25,70 TL	102 lt	2.448 lt	1.509.926,40 TL
Kasım 2022	53.568 lt	45,53 ton	46,44 tep	22,86 TL	93 lt	2.232 lt	1.224.564,48 TL
Aralık 2022	44.928 lt	38,18 ton	38,95 tep	22,50 TL	78 lt	1.872 lt	1.010.880,00 TL
Ocak 2023	58.752 lt	49,93 ton	50,93 tep	24,10 TL	102 lt	2.448 lt	1.415.923,20 TL
Şubat 2023	33.984 lt	28,88 ton	29,46 tep	22,41 TL	59 lt	1.416 lt	761.581,44 TL
Mart 2023	58.176 lt	49,44 ton	50,43 tep	21,40 TL	101 lt	2.424 lt	1.244.966,40 TL
Nisan 2023	46.656 lt	39,65 ton	40,45 tep	20,74 TL	81 lt	1.944 lt	967.645,44 TL
Mayıs 2023	48.384 lt	41,12 ton	41,94 tep	20,55 TL	84 lt	2.016 lt	994.291,20 TL
Haziran 2023	46.080 lt	39,16 ton	39,95 tep	24,80 TL	80 lt	1.920 lt	1.142.784,00 TL
Temmuz 2023	58.752 lt	49,93 ton	50,93 tep	29,88 TL	102 lt	2.448 lt	1.755.509,76 TL
Ağustos 2023	56.448 lt	47,98 ton	48,94 tep	37,44 TL	98 lt	2.352 lt	2.113.413,12 TL
Eylül 2023	49.536 lt	42,10 ton	42,94 tep	40,26 TL	86 lt	2.064 lt	1.994.319,36 TL
Ekim 2023	65.088 lt	55,32 ton	56,43 tep	39,54 TL	113 lt	2.712 lt	2.573.579,52 TL
Kasım 2023	61.632 lt	52,38 ton	53,43 tep	38,50 TL	107 lt	2.568 lt	2.372.832,00 TL
Aralık 2023	63.360 lt	53,85 ton	54,93 tep	38,36 TL	110 lt	2.640 lt	2.430.489,60 TL
Ocak 2024	69.120 lt	58,75 ton	59,92 tep	41,99 TL	120 lt	2.880 lt	2.902.348,80 TL
Şubat 2024	68.544 lt	58,26 ton	59,42 tep	42,30 TL	119 lt	2.856 lt	2.899.411,20 TL
Mart 2024	63.936 lt	54,34 ton	55,43 tep	42,71 TL	111 lt	2.664 lt	2.730.706,56 TL
Nisan 2024	57.024 lt	48,47 ton	49,43 tep	43,01 TL	99 lt	2.376 lt	2.452.602,24 TL
Mayıs 2024	56.448 lt	47,98 ton	48,94 tep	41,88 TL	98 lt	2.352 lt	2.364.042,24 TL
	1.346.112 lt	1.144,07 ton	1.167,07 tep	31,02 TL	97 lt	2.337 lt	42.751.463,04 TL

Tesiste bu iki yıllık süreçte günlük ortalama 2.337 lt dizel yakıt tüketimi olduğu görülmektedir. İki yıllık süreçte toplam dizel yakıt tüketimi 1.346.112 lt (1.167,07 TEP) ve toplam dizel yakıt maliyeti 42.751.463,04 TL' dir.

Tesisin 2022 Haziran – 2023 Mayıs dönemi 1 yıllık dizel yakıt tüketim miktarlarını lt cinsinden gösteren grafik Şekil 4.27' de ve aynı döneme ait 1 yıllık dizel yakıt fatura giderleri grafiği Şekil 4.28' de verilmiştir.

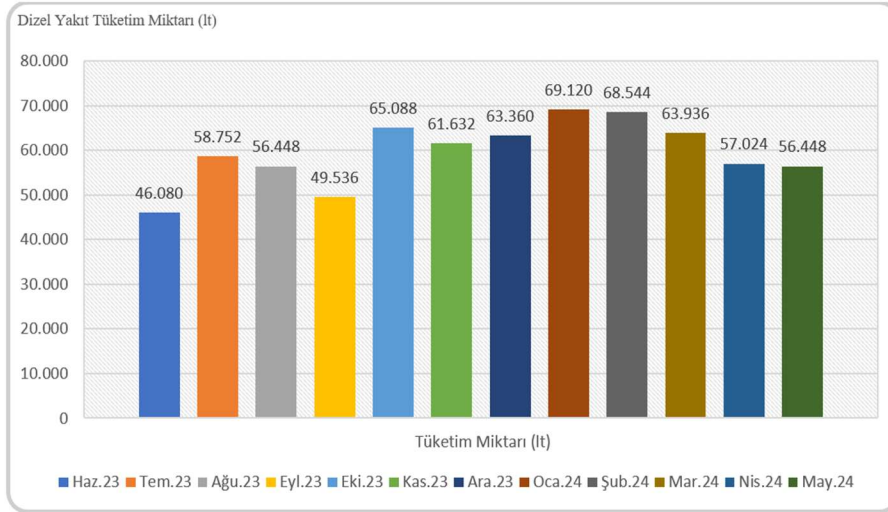


Şekil 4.27. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Miktarları (lt)

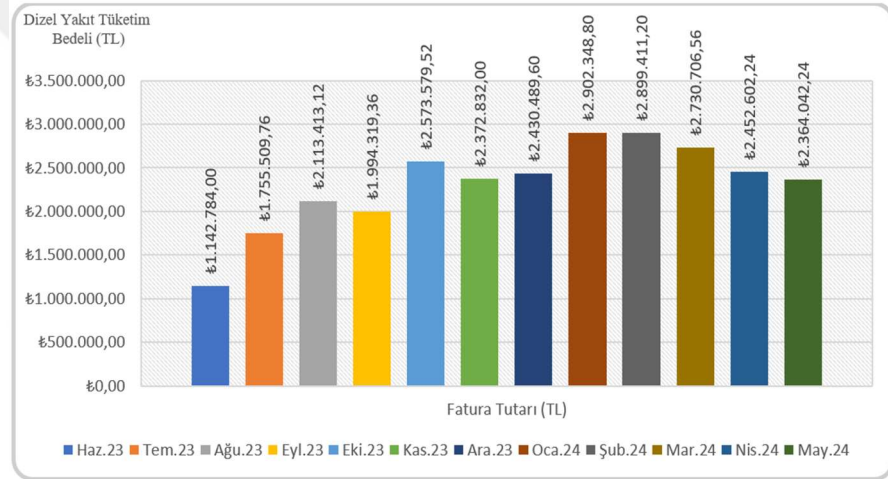


Şekil 4.28. 2022 Haziran – 2023 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Bedelleri (TL)

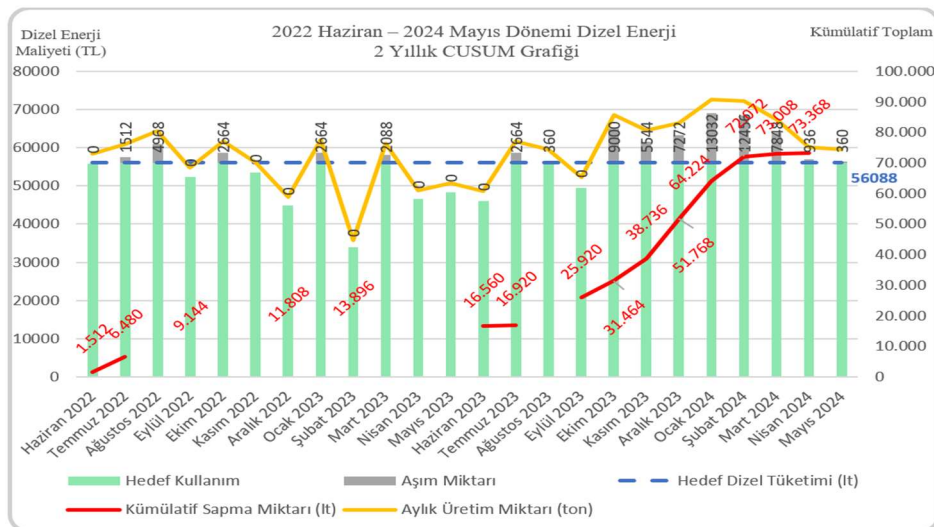
Tesisin 2023 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 1 yıllık dizel yakıt tüketim miktarlarını lt cinsinden gösteren grafik Şekil 4.29’ da ve aynı döneme ait 1 yıllık dizel yakıt fatura giderleri grafiği Şekil 4.30’ da verilmiştir. Buna göre, tüketilen dizel yakıt miktarı ile tüketim maliyetleri arasında doğrusal bir ilişki olmayışının nedeni yakıt fiyatlarındaki değişkenlik olarak gösterilebilir.



Şekil 4.29. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Miktarları (lt)



Şekil 4.30. 2023 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi 1 Yıllık Dizel Yakıt Tüketim Bedelleri (TL)



Şekil 4.31. 2022 Haziran – 2024 Mayıs Dönemi Dizel Yakıt 2 Yıllık CUSUM Grafiği

Tesisin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemi 2 yıllık dizel yakıt tüketim CUSUM grafiği Şekil 4.31’ de verilmiştir. Buna göre aylık nihai ürün üretim miktarı ile dizel yakıt tüketim miktarı arasında doğrusal bir ilişki olmakla birlikte hedef tüketim değerine göre sürekli artma ya da azalma eğiliminde olmadığından süreçte sistematik bir sapma bulunmamaktadır.

Tesis içi faaliyetlerde dizel yakıt ile çalışan 6 adet 2018 model 6x4 kamyon, 4 adet 2016, 2018, 2018, 2020 model paletli ekskavatör, 2 adet 2017 model yükleyici, 2 adet 2019 model lastik tekerlekli yükleyici araç ve 3 adet havalı delici (Vagon Drill) bulunmaktadır. Tesisin 3 vardiya halinde 24 saat çalışma durumu göz önüne alındığında günün büyük bir bölümünde dizel yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Tesisin 2022 Haziran – 2024 Mayıs dönemleri arası son iki yıllık süreçteki dizel yakıt tüketim verileri incelenmiş, günlük ortalama 2.337 lt ve toplamda 1.346.112 lt (1.167,07 TEP) dizel yakıt tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Bu iki yıllık süreçteki dizel yakıtın tesise maliyeti ise 42.751.463,04 TL olarak hesaplanmıştır. Yine bu iki yıllık süreçte toplam 1.712.012 tonluk üretim gerçekleşmiş ve ton başına 0,7609 lt dizel yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Tesiste kullanılan dizel motorlu araçların güç ve tüketim değerleri Tablo 4.18’ de görülmektedir.

Tablo 4.18. Kullanılan Dizel Motorlu Araç Güç ve Tüketim Değerleri

Cinsi	Adedi	Motor Gücü		Yakıt Sarfıyatı		
		kW	Hp	lt/saat	ton	TEP
Kamyon (500,19 Hp)	6	2238 kW	3001,15 Hp	32,5 lt/saat	0,027625 ton	0,028178 TEP
Paletli Ekskavatör (1260,54 Hp)	4	3760 kW	5042,16 Hp	58,33 lt/saat	0,049558 ton	0,050572 TEP
Yükleyici/İş Makinesi (312,45 Hp)	2	466 kW	624,9 Hp	8,75 lt/saat	0,007438 ton	0,007586 TEP
Lastik Tekerlekli Yükleyici (295,02 Hp)	2	440 kW	590,04 Hp	8,33 lt/saat	0,007081 ton	0,007222 TEP
Vagon Drill (Delici) (154,21 Hp)	3	345 kW	462,64 Hp	5,62 lt/saat	0,004777 ton	0,004873 TEP
	17	7249 kW	9720,9 Hp	113,53 lt/sat	0,096501 ton	0,098431 TEP

Ekskavatör ve yükleyicinin kamyonları doldurabilmesi ve kamyonların yük boşaltımı sonrası tekrar doldurma işlemi döngüsü için optimum araç sayısı ile birim maliyet arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla maliyet analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Günlük kalker çıkarım kapasitesi 3250-3500 m³, malzeme yoğunluğu 2,5 t/m³ olarak bilinmektedir. Malzemenin iyi patlatılmış olduğu, zeminde su sorunu olmadığı, genel iş yeri veriminin %90 olduğu senaryoda yükleme dolun faktörü 0,9 alınmıştır. Nakliye yolunun çalışma süreci ilerledikçe arttığı gerçeğiyle birlikte hesaplamalar şu anki konuma göre 800 m gidiş, 800 m geliş olmak üzere 1600 m üzerinden yapılmış ve yol bilgileri Tablo 4.19’ da verilmiştir. Ayrıca

yolda bulunan zemin tipi (asfalt, toprak, çakıl, vb.), lastiğin yuvarlanma direncini doğrudan etkilemektedir. Tesiste bulunan çalışma alanları ve taşıma yolları çoğunlukla engebeli, düzensiz toprak veya taşlık zeminlerden oluşmakta ve bu nedenle sert ve düzgün zeminlere göre yuvarlanma direnci daha yüksektir.

Tablo 4.19. Tesis İçi Yol Bilgileri

Dolu Gidiş				Boş Dönüş			
Yol Numarası	Uzunluk (m)	Eğim (%)	Yuvarlanma Direnci	Yol Numarası	Uzunluk (m)	Eğim (%)	Yuvarlanma Direnci
1	100	0	0,02-1	5	50	0	0,02-1
2	150	6	0,02-1	4	300	5	0,02-1
3	200	11	0,02-1	3	200	11	0,02-1
4	300	5	0,02-1	2	150	6	0,02-1
5	50	0	0,02-1	1	100	0	0,02-1

Ekskavatör, yükleyici, kamyon gibi araçların tümü sadece dizel yakıt kullanmakta, vagon drill deliciler ise dizel motor ile hareket edip delme işlemini elektrik kompresörlü havalı delici ile gerçekleştirmektedir. Kullanılan ekskavatörlerin kova kapasiteleri 2,7 – 3,3 m³, yükleyici kova kapasitesi 3,6 – 4 m³, lastik tekerlekli yükleyici kova kapasitesi 6 – 7 m³ ve kamyonların kasa kapasitesi 25 – 30 m³ tür. Ekskavatör-kamyon ya da yükleyici-kamyon kombinasyonlarının birim maliyet hesabında, bir kamyonun doldurulması için gerekli döngü adedinin teknik olarak makul sınırlar içinde olması gerekmektedir. Ancak bunun için arazinin o anki yapısı, malzemenin büyüklüğü ve konumu, ekskavatör ya da yükleyici ile doldurma tercihinde önemli bir etken olmaktadır. Kova kapasitesinin düşük tutulması teknik olarak daha kolay çalışılabilir olsa da doldurma işlemi esnasında fazlaca tekrara düşüleceği için işletme organizasyonu ve süreç ekonomiklikten uzaklaşacaktır. Bu nedenle proses tecrübesi ve birim maliyet açısından doldurma döngü sayısının 10' dan çok olduğu alternatifler değerlendirilmeye alınmamıştır. Ayrıca kazı işlemleri sırasında kullanılan ekskavatörlerde, küçük kova kapasitesinin büyük kova kapasitesine göre saatlik performans açısından oldukça avantajlı olduğu saptanmıştır. Örneğin doldurma işleminde 3,3 m³ kova kapasiteli ekskavatör işlevsel iken kazı işlemlerinde 2,7 m³ kova kapasiteli ekskavatör pratiklik kazandırmaktadır. Tablo 4.20' de farklı kova büyüklüğündeki 4 adet ekskavatöre ait saatlik kazı performansı ve Tablo 4.21' de farklı kova büyüklüğündeki ekskavatör, yükleyici ve lastik tekerlekli yükleyicilere ait yükleme kapasiteleri verilmiştir.

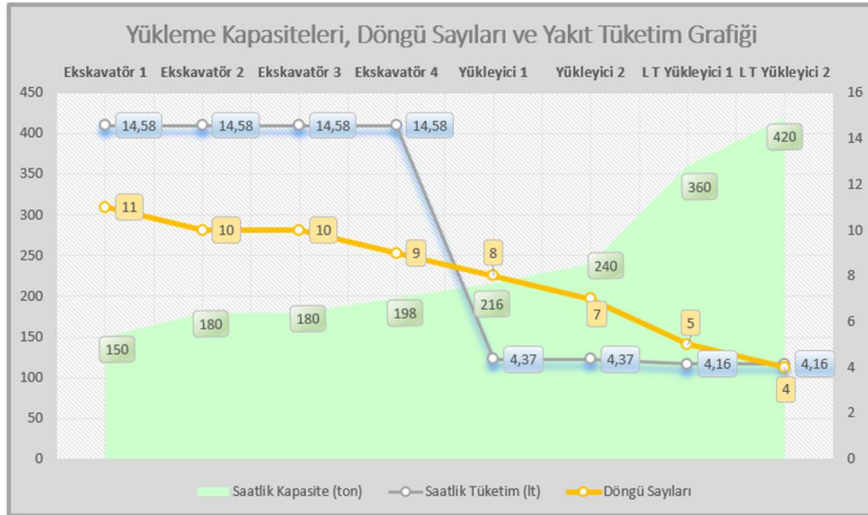
Tablo 4.20. Ekskavatör Kazı Bilgileri

	EKSKAVATÖR			
	E.01	E.02	E.03	E.04
Kova Büyüklüğü	2,5 m ³	3 m ³	3 m ³	3,3 m ³
Kapasite (m³/saat)	50	45	45	33
Pratikte Döngü Adedi	7,1	5,4	5,4	3,6
Gerçekte Döngü Adedi	8	6	6	4

Tablo 4.21. Farklı İş Makinelerinin Yükleme Bilgileri

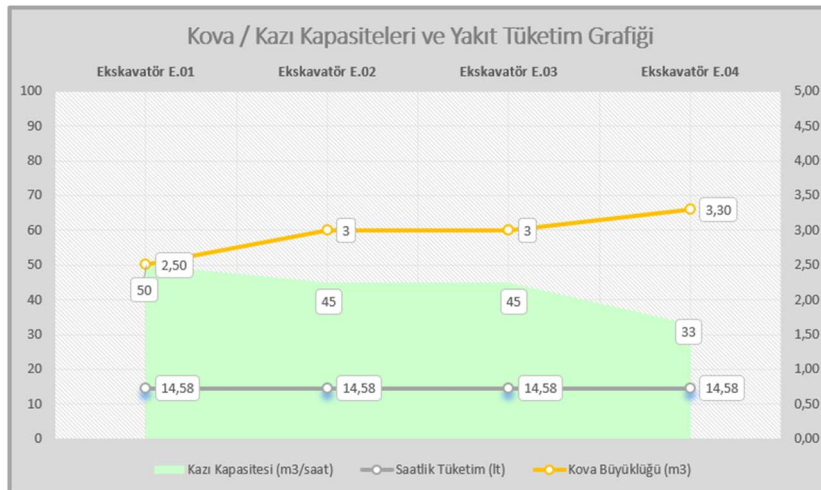
	EKSKAVATÖR				YÜKLEYİCİ		LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ	
	E.01	E.02	E.03	E.04	Y.01	Y.02	LY.01	LY.02
Kova Büyüklüğü	2,5 m ³	3 m ³	3 m ³	3,3 m ³	3,6 m ³	4 m ³	6 m ³	7m ³
Kapasite (m³/saat)	150	180	180	198	216	240	360	420
Pratikte Döngü Adedi	10	8,33	8,33	7,57	6,94	6,25	4,16	3,54
Gerçekte Döngü Adedi	11	10	10	9	8	7	5	4

En düşük kova kapasitesine sahip olan E.01 ekskavatörünün saatlik kazı kapasitesi, daha büyük kova kapasiteli E.04 ekskavatöründen daha yüksek olduğundan, eşit süreli kazı performansı değerlendirmesinde E.01 ekskavatörü 8 adet döngü ile 1 saatte 50 m³ kazı yapabilirken, kova hacminin büyümesi nedeniyle kazı pratikliği azalan E.04 ekskavatörü 4 adet döngü ile 1 saatte 33 m³ kazı yapabilmektedir. Kalker gibi sert ve zorlu zemin kazılarında kova kapasitesinin büyümesi, daha fazla dirençle karşılaşılması anlamını taşımaktadır. Bu nedenle büyük kova kullanımı ekskavatör kazılarında daha büyük darbe ve güç gerektireceğinden performans düşürücü unsur olarak göze çarpmaktadır. Yükleme performansında ise tam tersi durum söz konusudur. Büyük kovalı ekskavatör ve yükleyiciler, her bir yükleme döngüsünde daha fazla malzeme alması nedeniyle daha az tekrar yaparak aynı kapasitedeki kamyonu doldurabilmektedir. Ekskavatör ve yükleyicilerde, hazır malzemeyi yükleme performansları değerlendirildiğinde özellikle düz zeminde büyük kovalı yükleyiciler oldukça avantaj sağlamaktadır. Tablo 4.19' da ki saatlik yakıt tüketimleri verileri kullanılarak hazırlanan ekskavatör, yükleyici ve lastik tekerlekli yükleyicilere ait kamyon yükleme kapasiteleri, döngü sayıları ve tüketim grafiği Şekil 4.32' de, ekskavatörlere ait kazı performansı ve tüketim grafiği Şekil 4.33' te verilmiştir.



Şekil 4.32. Farklı İş Makineleri Yükleme Performans Grafiği

Grafik incelendiğinde ekskavatörler yüksek yakıt tüketimi ile göze çarpmaktadır. Büyük kova kapasiteli (6 – 7 m³) lastik tekerlekli yükleyiciler 4 – 5 döngüde 25 – 30 m³ kamyonu doldurabilirken, kova kapasitesi düşük olan (2,5 – 3 m³) ekskavatörler aynı kamyonu 10 – 11 döngüde doldurabilmektedir. Ancak bu durum o anki yükleme noktasının düz zemin olduğu durumlarda geçerlidir. Lastik tekerlekli yükleyicinin manevra yapamayacağı eğimde ya da engebeli noktalarda daha küçük kova kapasiteli yükleyici ya da ekskavatör kullanımı zorunlu hale gelmektedir.



Şekil 4.33. Ekskavatör Kazı Performans Grafiği

Birim maliyetler kullanılan ekskavatör, yükleyici ve kamyon türlerine göre değişiklik göstermekte olup, birim maliyet ile ekskavatör kova kapasitesi arasında net doğrusal bir ilişkiden söz edilememektedir. Birim maliyetlerde ekskavatör kova kapasitesinin artması ile

birlikte bir değişim söz konusu olsa da farklı ekskavatör türlerindeki görev farklılıkları (kazi/yükleme/yol açma/düzeltilme) nedeniyle belirli bir bant aralığında dalgalanmalar görülmüştür. Bir kamyonu doldurmak için gerekli döngü sayısının toplam maliyet üzerinde oldukça büyük bir etkisi bulunmaktadır. 25 – 30 m³ kapasiteli tek tip kamyon kullanılması nedeniyle değişik kamyon kapasiteleri birim maliyet ilişkisi incelenememiştir.

Her dizel motorlu araçta olduğu gibi iş makinelerinde de yağ değişimi, filtre temizliği ya da değişimi ve diğer motor bakımlarının düzenli yapılması motor ömrü açısından önemli unsurlardır. Kaliteli ve doğru yakıt kullanmak yine dizel motorun ömrüne çok büyük etki etmektedir.

Özellikle agrega tesisleri gibi tozlu ortamlarda dizel motorların bakım gereksinimleri, motor ömrü ve verimlilik açısından dikkat gerektirir. Bu tür ortamlarda hava filtreleri hızlı bir şekilde kirlenmektedir. Filtrelerde kirlenme durumu motorun hava almasını kısıtlayarak yakıt artışına ve performans düşüklüğüne neden olmaktadır. Yine aynı şekilde toz egzoz sistemine de ulaşabilmekte ve egzoz manifoldunda birikerek tıkanmalara yol açmaktadır. Dolayısıyla tozlu ortamlarda dizel motorun bakımının başarılı olabilmesi için hava filtrelerinin, yağın, soğutma sisteminin, egzoz ve enjeksiyon sisteminin düzenli bakımı kritik öneme sahiptir.

Tesisteki ortam koşulları göz önünde bulundurularak iş makinelerine ait hava filtrelerinin her 250 saatte bir kontrol edilmesi, en geç 500 saatlik çalışma sonunda değiştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Yakıt filtresinin kirliliğinin, enjektörlerde tıkanmaya neden olacağından ve motor verimini düşüreceğinden dolayı yağ ve yakıt filtrelerinin 600-700 saatlik çalışma aralıklarında değiştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir.

Dizel araçlarda yağ tüketiminin artması, egzoz dumanının siyah olması, motor üzerinde aşırı yağ kaçakları gibi durumlar gözlemlenmiştir. Bu semptomların saptanması motorun düşük devirde çalıştığıın işareti olma ihtimalini çok güçlendirmektedir. Ancak uzun süreli düşük devirde çalışan dizel motorlarda, odalarında tam yanamayan dizel yakıt egzoz ve turbo şarj sisteminde karbon birikimlerine yol açarak egzoz geri basınç değerini artırarak ve turbo şarj kanatlarının çalışmasını zorlaştırarak uzun vadede ciddi hasarlarla birlikte ağır bakıma gitme durumu söz konusu olacaktır. Yine düşük devirde çalışan dizel motorda dizayn sıcaklığı sağlanamadığı şartlarda piston segmanları, piston ve silindir duvarları arasındaki dolduramadığı için tam yanamayan yakıt yağ ile karışmaktadır. Bu karışım yağın yapısını bozacak ve motor erken aşınmalara maruz kalacaktır. Düşük devirde çalışmanın diğer bir zararı ise emisyonlu motorlarda kullanılan DOC (Diesel Oxidation Catalysts), SCR (Selective Catalytic Reduction) ve DPF (Diesel Particulate Filter) ünitelerinin düşük devirden direkt olarak etkilenmesidir. Emisyon değerlerinin sağlanamaması ilerleyen süreçlerde motorun durmasına, çalışmamasına

neden olmaktadır. Agregatör tesisleri gibi kısa mesafeli ve zorlu şartlar, kullanılan dizel motorlu araçların, özellikle kamyonların, dizel motordan tam verim alınacak uzun mesafeli sürüş imkanını sağlamamaktadır. Ancak yapılacak bazı hamlelerle düşük devirme çalışma nedeniyle motorun göreceği zararın en aza indirilmesi hedeflenebilir. Örneğin yılda iki kez motorun tam yükte en az dört saat çalıştırılması karbon birikmelerinin önüne geçilmesine ve karbon birikiminin önlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, motor ısısını hızlı bir şekilde yükseltecek katkı maddeleri gibi çözümler uygulanabilir. Katkı maddesi litre fiyatının 200 TL, mazot litre fiyatının 45 TL olduğu senaryoda %6-7 tasarruf öngörüsü ile dizel araçlarda motor ısıtma katkı maddesi kullanılması durumunda elde edilebilecek tasarruf hesabına ilişkin Tablo 4.22’ de verilmiştir.

Tablo 4.22. Motor Isı Katkı Maddesi Kullanımı

Kalem	Miktar
Yıllık Yakıt Tüketimi	673.056,00 litre
Yıllık Tasarruf (Brüt)	47.113,92 litre
Yıllık Tasarruf (TL)	2.120.126,40 TL
Katkı Maddesi Miktarı	6.730,56 litre
Katkı Maddesi Maliyeti	1.346.112,00 TL
Net Yıllık Tasarruf	774.014,40 TL

Telemetri Sistemleri ve IoT (Nesnelerin İnterneti) kullanılarak agregatör tesisindeki dizel motorlu araçların yakıt performansı izlenebilmektedir. Bu türden bir izleme, verimliliği artırmak, yakıt tüketimini optimize etmek ve operasyonel maliyetleri azaltmak için oldukça faydalı olabilmektedir. Telemetri sistemleri, çeşitli sensör ve cihazlar aracılığıyla aracın yakıt durumunu, tüketimini ve motordan elde edilen verimi takip etmektedir. IoT teknolojisinde ise sensörler ile izlenen araçların anlık yakıt tüketimleri, hızları, motor durumları ve diğer önemli parametreler merkezi bir platformda (sunucu üzerinde) kayıt edilir. Ayrıca operatörler her an araçların durumunu gözlemleyebilir. Sistemde araçların yakıt performansının takibinin yanı sıra araçların network üzerinden birbiriyle haberleşmesi sağlanarak verilerin dinamik bir şekilde analiz edilmesi sağlanır. Bu eşleştirme ile aynı türden araçların tüketim ve performans değerleri analiz edilerek olası büyük boyutlu farklılıklar mercek altına alınarak erken tedbir ve müdahale imkânı sağlanmış olur. Ayrıca IoT teknolojisinde aracın yakıt performansı ve sürüş davranışının yanında çalışma durumu da takip edilerek bakım ihtiyacı durumunda sistemin göndereceği uyarı mesajları ile süreç optimize edilebilmektedir.

5. SONUÇ

Tesis genelinde enerji tüketim noktalarında enerji analizörü ile elektrik ölçümleri, basınçlı hava debimetresi ile basınçlı hava ölçümleri, termal kamera ve yüzey sıcaklık probu ile sıcaklık ölçümleri, ultrasonik sızıntı dedektörü ile basınçlı hava kayıpları ve pens ampermetre akım/gerilim/güç ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden alınan veriler ile enerji tüketim miktarları, olası tasarruf miktarları ve proje önerileri tespit edilmiştir. Tesiste gerçekleştirilen enerji etüt çalışmaları ile 2022 – 2024 arası ortalama enerji tüketimleri ve tüketime karşılık gelen nihai ürün üretim miktarları belirlenmiştir. Enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi amacıyla aylık nihai ürün ve tüketilen enerji miktarları değerlerine göre standart doğru oluşturulmuştur. Doğrunun altında kalan verilere göre hedef denklemi belirlenmiştir. Hedef denklem ve aylık üretim değerleri ile tesisin aylara göre tasarruf potansiyeli hesaplanmıştır. Tesis için öngörülen projelerin uygulanması ile elde edilebilecek yıllık tasarruf değerleri belirlenmiştir.

Önerilen verim artırıcı projeler ile Elektrik enerjisinden yıllık 32,33 TEP ve Dizel Yakıt enerjisinden yıllık 21,12 TEP enerji tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Bu projelerin gerçekleştirilmesi ile 33.901 \$ yatırım bedeli sonucu 189.775 \$ kazanç sağlanabileceği tespit edilmiştir. Projeler içinde en yüksek enerji kazancının 31,78 TEP ile elektrik motorlarının IE3 sınıfındaki aynı güç motorlarla değiştirilmesi uygulaması ile olacağı görülmektedir. Bu uygulamanın 108.228 \$ yatırım maliyetine olmasına rağmen ilk yatırımdan sonra elektrik enerjisinde sağlayacağı hızlı tasarruf ile öncelikli proje olması tavsiye edilebilir. Genel olarak projelerin uygulanmasında geri ödeme süreleri dikkate alınarak tesis tarafından bir sıralama yapılabilir.

Tesiste 2022 – 2024 arası yıllık ortalama 884.506 ton/ üretim gerçekleştirildiği, bunun için 606,33 TEP/yıl elektrik ve 583,46 TEP/yıl Belirlenen hedef denklemine göre işletmenin yıllık enerji tasarrufunun 59,48 TEP olması mümkündür. Bu değer yıllık enerji tüketiminin %5'ine karşılık gelmektedir. İşletme için önerilen projelerin uygulanması sonucu yıllık 53,46 TEP enerji tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir. Projeler sonrası kazanılabilecek enerji tasarrufu mevcut tüketimin %4,93'üdür. Bu durum hedeflenen enerji tasarrufuna ulaşabilmek yeni projelerin yapılabilmesi anlamına gelmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, 1985, 3213 Sayılı Maden Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.3213.pdf>, sayı: 18785, (Erişim Tarihi: 27.05.2024).
- Anonim, 2007, Enerjinin Etkin Kullanımı, İsrafının Önlenmesi, Enerji Maliyetlerinin Ekonomi Üzerindeki Yükünün Hafifletilmesi ve Çevrenin Korunması, Resmî Gazete, Sayı 26510, *Enerji Verimliliği Kanunu*, Kanun No 5627.
- Anonim, 2020, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/01/20200125-27.htm>, sayı: 31019, (Erişim Tarihi: 22.05.2024).
- Arı, F. ve Yılmaz, V., 2023, Türkiye’de ve Dünya’da Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü ve Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi, Araştırma Makalesi, *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, DÜSBED, Ekim 2023, Diyarbakır, Sayı 34, S 496-519.
- Atıcı, Ç., Özçelebi, T. and Lukkien, J. J., 2011, Exploring User-Centered Intelligent Road Lighting Design: A Road Map and Future Research Directions, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Netherlands, 57(2), 788-793.
- Bayraktar, B., 2021, Maden Sektöründe Enerji Verimliliği: Bir Maden İşletmesi Örneği Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 4.
- BP, 2020, Statistical Review of World Energy, <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.05.2024)
- Byun, J., Hong, I., Lee, B. and Park, S., 2013, Intelligent Household LED Lighting System Considering Energy Efficiency and User Satisfaction, *in IEEE Transactions on Consumer Electronics*, February 1, 59, 70-76.
- Çağman, S., 2014, Bir Sanayi Kuruluşunda Detaylı Etüt Çalışması ve Verimlilik İmkanlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 44-45.
- Daniyan, I. A., Adeodu, A. O. and Dada, O. M., 2014, ‘Design of a Material Handling Equipment: Belt Conveyor System for Crushed Limestone Using 3 roll Idlers’, Research Article, *Journal of Advancement in Engineering and Tecnology*, Department of Mechanical & Mechatronics Engineering, Afe Babalola University.
- Doğru, A., Koymat, N. ve Civelek, Z., 2021, Ticari Bina LED Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD)*, Ocak 2021, 13(1), 22-31.

- ECE, 2019, Smarter, greener, more inclusive? *Indicators to Support The Europe 2020 strategy*. Belgium: European Union, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/10155585/KS-04-19-559-EN-N.pdf/b8528d01-4f4f-9c1e-4cd4-86c2328559de?t=1570181425000>, (Ziyaret Tarihi 20.04.2024)
- ETKB, 2020, 2019-2023 Stratejik Planı, Ankara, https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf, (Ziyaret Tarihi: 18.04.2024).
- ETKB ve Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2021, *Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu (2020)*, Ankara, 2021/25.
- ETKB, 2024, Türkiye' nin Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030), Ankara, <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/2UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1.pdf>, (Ziyaret Tarihi 18.04.2024).
- ETKB, 2023, Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası Sunumu, Ankara, https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf, (Erişim Tarihi: 13.05.2024).
- Er, T., 2019, Bantlı Konveyörlerdeki Riskler ve İSG Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Mersin, 1-34.
- Genççakır, B. G., 2013, Sabit Bantlı Konveyörler ve Bunlardaki Gergi Tertibatlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 74.
- Halili, A., 2003, Agregat Üretiminde Kırma-Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, https://api.maden.org.tr/uploads/portal/resimler/ekler/e8ca836c9625985_ek.pdf, (Ziyaret Tarihi: 23.03.2023)
- İncekara, Ç.Ö., 2020, Bulanık Mantık ile Sanayii Sektöründe ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Aralık 2020, 20, 065301, 991-1013.
- İsa, K. ve Onat, A., 2017, İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Kitabı, *Teknik Kitaplar Dizisi No: 02*, Eylül 2017, İstanbul, S-12.
- Kavak, K., 2005, Dünyada ve Türkiye' de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin incelenmesi, Uzmanlık Tezi, *İktisadi Sektörler ve koordinasyon Genel Müdürlüğü*, Ankara, 3-7.
- Konak, N., 2011, Küresel İklim Değişikliği, Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları, Gönüllü Karbon Piyasası ve Türkiye: Eleştirel Yaklaşım, Makale, *Alternative Politics*, Eylül 2011, Cilt: 3, Sayı: 2, S 154-178.

- Mallı, T., ve Gönen, A., 2017, Açık İşletmelerde Bantlı Konveyör Nakliye Sisteminin Değişen Kapasite ve Taşıma Mesafesine Bağlı Ekonomik Analizi, Makale, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 19 Sayı: 57, 1053-1061.
- Moseley, P., T., Garce, J., Scrosati, B., Rand, D., A., J., T., Dyer, C., K., Ogumi, Z., 2009, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, November 2009, S 232.
- Özdağ, M., 2023, Vektör Kontrol Yöntemi İçin Deney Düzenegi Tasarımı, Gerçeklemesi ve Bu Yöntemin Üç Fazlı Elektrik Motorlarında Performans Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, 28-90.
- Öztürk, H., H., Atay, Ü., Ayhan, B., Gök, S. ve Göker, H., 2021, Tarımsal Sulamada Kullanılan Pompaj Tesislerinde Enerji Giderlerinin Belirlenmesi, *Euroasia Summit 4th International Applied Sciences Congress*, September 11- 12, ODESA – Ukrayna, 101-102.
- Saatçioğlu, C. ve Küçükaksoy, İ., 2004, “Türkiye Ekonomisinin Enerji Yoğunluğu ve Önemli Enerji Taşıma Projelerinin Ekonomiye Etkisi”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı: 11, Kütahya, 2004, S 22-23.
- Sahebjam, M., Sharifian, M. B. B., Feyzi, M. R. and Sabahi, M., 2019, Novel Unified Control Method of Induction and Permanent Magnet Synchronous Motors, *International Journal of Engineering*, February 2019, 32(2), 256-269.
- Schubert, E., F., and Kim, J., K., 2005, Solid-State Light Sources Getting Smart, *Science*, May 27, 308, 1274-1278.
- Söğüt Z., İlten N. ve Oktay Z., 2011, Bir Salça Fabrikasında Enerji Taramasına Bağlı Enerji Tasarruf Potansiyelinin İncelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elâziğ, Turkey.
- Turkey Energy Outlook, 2020, Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate (IICEC). ISBN 978-605 70031 9 5
- TÜİK, 2023, Türkiye İstatistik Kurumu, Haber Bülteni, Enerji Hesapları 2021, 2 Mayıs 2023, Sayı: 49751, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Enerji-Hesapları-2021-49751>, (Erişim Tarihi: 23.05.2024)
- Türkeş, M., 2021, BMİDÇS Paris Anlaşması Nedir ve Glasgow'da Görüşülmesi Beklenen Ana Konular Hangileridir? İklim Değişikliği Savaşımı Açısından Glasgow'dan Neler Beklenebilir?, *Dosya COP 26/EKOlQ*, Kasım 2021, https://www.researchgate.net/publication/356129477_BMIDCS_Paris_Anlaşması_Nedir_ve_Glasgow'da_Görüşülmesi_Beklenen_Ana_Konular_Hangileridir_İklim_Değişikliği_Savaşımı_Açısından_Glasgow'dan_Neler_Beklenebilir, (Erişim Tarihi: 09.05.2024).
- TKİ, 2018, Kömür Sektör Raporu (Linyit), Ankara, https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2019/05/2017-K%C3%B6m%C3%BCr-Sekt%C3%B6r-Raporu_21.02.19.pdf, S 7-8, (Erişim Tarihi: 19.05.2024).

- Uzun, E., 2021, Endüstriyel İşletmelerde Enerji İzleme Sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine Katkıları, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 14-15.
- Yağcı, B., E., 2021, Türkiye'nin Enerji ve Çevre Toplam Faktör Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-2.
- Yaylalı, B., 2009, Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde İklim Değişikliği, Diğer Çevre Sorunlarıyla Etkileşimi ve Türkiye Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, S 155-156.
- Yapıcı, F., 2021, Küresel İklim Değişikliğiyle Mücadelede Sübvansiyon Politikaları: Türkiye Enerji Sektörü Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir, S 281-283.
- Yılmaz, A.O., Kaya, R., Şentürk, M., Tatarhan, A., Çavuşoğlu İ. ve Alp, İ., 2003, 50-130-250-500 ton/saat Kapasiteli Kırma-Eleme Tesislerinin Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Belirlenmesi, III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003/İstanbul, 277-284.
- Yuan, C., Y., 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*, California-USA, 25(4) 293-300.
- Yüzer, E., Güngör, Y. ve Aydoğan, S., 2016, *Doğal Taşın Öyküsü Kitabı*, Kare Tasarım 1. Baskı, Mart 2016, İstanbul, S 211.