

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE ENERJİ İZLEME
SİSTEMLERİ VE ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNE
KATKILARI

ECEM UZUN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE ENERJİ İZLEME
SİSTEMLERİ VE ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNE
KATKILARI

ECEM UZUN

Dr. Öğr. Üyesi. Murat AYAZ
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Ercüment KARAKAŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat TEZCAN
Jüri Üyesi, Kütahya Dumlupınar
Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.02.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, endüstriyel işletmelerde enerji izleme sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine katkıları incelenmiştir. Bu kapsamda enerji tüketimi yoğun bir endüstriyel tesisin enerji tüketim ve üretim çıktıları ele alınarak enerji analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca görüş ve bilgileriyle bana yol gösteren, büyük bir sabır ve özveriyle bana rehberlik ederek desteğini hiç esirgemeyen kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat AYAZ'a çok teşekkür ederim.

Bana hayat enerjisiyle güç veren, en büyük destekçim, her koşulda üzüntülerimi ve mutluluklarımı paylaşan sevgili kardeşim Gizem Uzun'a ve hayatım boyunca her zaman olduğu gibi yüksek lisans öğrenimim süresince de ihtiyacım olan her konuda desteklerini daima arkamda hissettiğim canım annem ve canım babama sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Şubat-2021

Ecem UZUN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ	5
1.1. Enerji Verimliliği Kavramı	5
1.2. Ülkemizde Enerji Verimliliğine Genel Bakış	6
1.3. İşletmelerde Enerji Verimliliği Odakları.....	10
1.3.1.Pompalarda enerji verimliliği.....	10
1.3.2.Kompresörlerde enerji verimliliği	11
1.3.3.Kazanlarda enerji verimliliği.....	13
1.3.4.Aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği.....	13
1.3.5.Elektrik motorlarında enerji verimliliği	14
1.4. Enerji Verimliliğinde Bilinçlendirme Faaliyetleri	15
2. ENERJİ YÖNETİMİ ve ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ	20
2.1. Enerji Yönetimi Kavramı	20
2.2. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi.....	22
3. ENERJİ İZLEME VE KONTROL SİSTEMLERİ	24
3.1. Enerji Maliyetlerinin Azaltılması.....	26
3.2. Enerji Kalitesinin Arttırılması	27
3.3. Servis Sürekliliğinin Geliştirilmesi	27
4. ENERJİ İZLEME SİSTEMLERİNİN ENYS'YE KATKILARI.....	28
4.1. Enerji Yönetim Sisteminde Enerji Performans Göstergeleri	30
4.2. Enerji Referans Çizgisi.....	31
4.3. Önemli Enerji Kullanıcıları	32
4.4. Enerji Hedef ve Eylem Planları.....	33
4.5. İnceleme	33
4.6. İşletimin Kontrolü	33
5. ENERJİ YOĞUN BİR İŞLETMENİN ENERJİ ANALİZİ	35
5.1. Tesis Enerji Tüketim ve Üretim Verileri.....	35
5.1.1.Enerji performans değerleri.....	35
5.1.2.Tesis önemli enerji kullanıcıları	38
5.2. Regresyon Analizi ile Tüketim Tahminleri.....	39
5.3. Yapay Sinir Ağları ile Tüketim Tahminleri	53
5.3.1.Yapay sinir ağları ile oluşturulan model	54
5.3.2.Tüketim tahmin verileri.....	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59

KAYNAKLAR	62
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	65
ÖZGEÇMİŞ	66



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Enerji yoğunluğunun karşılaştırılması	8
Şekil 1.2.	Enerji verimliliğini belirleyen beş faktör	16
Şekil 1.3.	Enerji verimliliği bilinçlendirme programı akış şeması	17
Şekil 2.1.	Enerji yönetimi aşamaları	21
Şekil 2.2.	PUKÖ döngüsü	22
Şekil 3.1.	Bir EnYS için temel veri toplama yapısı	25
Şekil 3.2.	Şematik enerji izleme sistemi	25
Şekil 3.3.	Örnek bir enerji izleme sistemi görünümü	26
Şekil 4.1.	Enerji planlama süreci.....	29
Şekil 4.2.	Analog verilerin dijital verilere dönüştürülmesi	30
Şekil 4.3.	Referans noktasına göre elektrik tüketimlerinin takibi.....	32
Şekil 5.1.	2016-2017-2018-2019 Çelikhane elektrik EnPG değerleri	35
Şekil 5.2.	2016-2017-2018-2019 Çelikhane doğalgaz EnPG değerleri	36
Şekil 5.3.	2016-2017-2018-2019 Çelikhane kok gazı EnPG değerleri.....	36
Şekil 5.4.	2016-2017-2018-2019 Haddehane elektrik EnPG değerleri.....	37
Şekil 5.5.	2016-2017-2018-2019 Haddehane doğalgaz EnPG değerleri	37
Şekil 5.6.	2016-2017-2018-2019 Haddehane kok tozu EnPG değerleri.....	38
Şekil 5.7.	Elektrik önemli enerji kullanıcıları	38
Şekil 5.8.	Doğalgaz önemli enerji kullanıcıları.....	39
Şekil 5.9.	2018 Çelikhane elektrik tüketimi trend grafiği.....	40
Şekil 5.10.	2018 Çelikhane doğalgaz tüketimi trend grafiği.....	41
Şekil 5.11.	2018 Çelikhane kok tozu tüketimi trend grafiği	45
Şekil 5.12.	2017 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-elektrik tüketimi ilişkisi.....	47
Şekil 5.13.	2018 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-doğalgaz tüketimi ilişkisi.....	49
Şekil 5.14.	2018 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-kok tozu tüketimi ilişkisi	50
Şekil 5.15.	Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı yapısı.....	55
Şekil 5.16.	2016-2017-2018-2019 yılları LSTM gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması	56
Şekil 5.17.	2016-2017-2018-2019 yılları BPNN gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması	57
Şekil 5.18.	2016-2017-2018-2019 yılları Regresyon gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması	58

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1.1. Enerji verimliliği açısından ülke puan sıralaması.....	9
Tablo 1.2. Enerji verimliliği akış şeması zaman çizelgesi	17
Tablo 5.1. Doğalgaz-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	43
Tablo 5.2. Doğalgaz-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	44
Tablo 5.3. Kok tozu-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	45
Tablo 5.4. Kok tozu-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	46
Tablo 5.5. 2019 yılı elektrik gerçekleşen-olması gereken tüketimler.....	47
Tablo 5.6. Elektrik-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	48
Tablo 5.7. Elektrik-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	48
Tablo 5.8. Kok tozu-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	51
Tablo 5.9. Kok tozu-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu.....	51
Tablo 5.10. 2019 yılı doğalgaz gerçekleşen -olması gereken tüketimler.....	52
Tablo 6.1. Tüketim tahmini performans sonuçları.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
Nm ³	: Normal Metreküp
R ²	: Belirleme Katsayısı
Sm ³	: Standart Metreküp

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BPNN	: Back-Propagation Neural Networks (Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları)
CDD	: Cooling Degree Days (Soğutma derecesi günleri)
CUSUM	: Cumulative Sum (Kümülatif Toplam Kalite Kontrol Grafikleri)
CO ₂	: Karbondioksit
EN	: Europeane Norm (Avrupa Normu)
EnPG	: Enerji Performans Göstergesi
EnRÇ	: Enerji Referans Çizgisi
EnYS	: Enerji Yönetim Sistemi
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HDD	: Heating Degree Days (Isıtma derecesi günleri)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
kWh	: Kilo Watt Saat
LSTM	: Long Short-Term Memory (Uzun Kısa Süreli Bellek)
MAE	: Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	: Organisation for Economic Cooperation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü)
PUKÖ	: Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem A1
RMSE	: Root-Mean-Square Deviation (Ortalama Karekök Sapması)
SET	: Spesifik Enerji Tüketimi
TCP/IP	: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (İletim Denetimi Protokolü / Internet Protokolü)
TS	: Türk Standardı
USD	: United States Dollar (Amerikan Doları)

ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDE ENERJİ İZLEME SİSTEMLERİ VE ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNE KATKILARI

ÖZET

Günümüz teknolojik gelişmeler ile birlikte sürekli olarak artan enerji talebi; enerji takibi, analizi ve verimliliği gibi kavramların önemini arttırmıştır. Sürekli artma eğilimi gösteren enerji fiyatları sebebiyle özellikle enerji yoğun sektörlerin enerjiyi etkin bir şekilde kullanabilmesi, enerjinin sürekli kontrol altında tutularak izlenmesi ile mümkündür. Endüstriyel işletmelerde gün içerisinde gözlenen farklı enerji tüketim değerleri, enerji tüketim ve üretim maliyetlerini hesaplamada önemli bir etken haline gelmiştir. Artan enerji maliyetleri ile birlikte, enerji izleme, kontrolü ve verimliliği üzerine yapılan çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Son yıllarda giderek önem kazanan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standartlarının gereklilikleri sebebiyle enerji izleme sistemleri enerji tüketimini görünür kılarak endüstriyel işletmelerde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayan bir çözüm haline gelmiştir. Bu çalışmada enerji izleme sistemlerinin endüstriyel işletmeler için önemi ve TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine sağladığı katkılar ele alınmıştır. Bu kapsamda enerji tüketimi yoğun bir endüstriyel tesisin enerji tüketim ve üretim çıktıları ele alınarak enerji analizleri gerçekleştirilmiştir. Enerji analizi doğrultusunda enerji performans göstergeleri aylık bazda hesaplanarak yıllık enerji tüketim tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı bir model oluşturulmuştur. Enerji izleme sistemleri kullanılarak endüstriyel işletmelerin tek seferlik enerji iyileştirmeleri yerine sürekli iyileştirmeler ile enerjinin verimli kullanılması, ülke ekonomimizin sürdürülebilir büyümesine öncülük edecektir. Aynı zamanda, işletmede yapılabilecek değişiklikler planlanırken, gelecek yıllardaki enerji tüketimi ve enerji maliyetlerini belirlemede kolaylık sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji İzleme Sistemleri, Enerji Tüketim Tahmin Modeli, Enerji Yönetim Sistemi, Sürekli İyileştirme, Yapay Sinir Ağları.

ENERGY MONITORING SYSTEMS IN INDUSTRIAL ENTERPRISES AND ITS CONTRIBUTIONS TO ISO 50001 ENERGY MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

Continuously increasing energy demand with today's technological developments; has increased the importance of concepts such as energy tracking, analysis and efficiency. Due to the ever-increasing trend of energy prices, it is possible for energy-intensive sectors to use energy effectively by keeping the energy under constant control and monitoring. Different energy consumption values observed during the day in industrial enterprises have become an important factor in calculating energy consumption and production costs. With the increasing energy costs, studies on energy monitoring, control and efficiency have gained great importance. Due to the requirements of TS EN ISO 50001 Energy Management System standards, which have become increasingly important in recent years, energy monitoring systems have become a solution that provides significant energy savings in industrial enterprises by making energy consumption visible. In this study, the importance of energy monitoring systems for industrial enterprises and their contribution to the TS EN ISO 50001 Energy Management System have been discussed. In this context, energy analysis has been carried out by considering the energy consumption and production outputs of an energy-intensive industrial facility. In line with the energy analysis, energy performance indicators are calculated on a monthly basis and an Artificial Neural Networks (ANN) based model has been created for annual energy consumption estimation. Efficient use of energy with continuous improvements instead of one-off energy improvements of industrial enterprises by using energy monitoring systems will lead the sustainable growth of our country's economy. At the same time, it will make it easier to determine the energy consumption and energy costs in the coming years while planning the changes that can be made in the business.

Keywords: Energy Monitoring Systems, Energy Consumption Prediction Model, Energy Management System, Continuous Improvement, Artificial Neural Networks.

GİRİŞ

Halen hızlı bir şekilde kalkınma sağlamakta olan ülkemizde sanayi faaliyetlerinde gerçekleşen artış, teknolojinin sürekli gelişmesi ve nüfusta artış yaşanması, enerji ihtiyacını giderek arttırmıştır. Bu sebeple enerji üretimi ile enerji tüketiminde ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinde çevreyi de dikkate alan politikalar uygulamak, israfı önleyerek verimli bir üretim yapmak, önem kazanan politikalardan olmuştur. Uluslararası enerji ajansı raporuna göre 2035 yılında enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarında %20 artış yaşanacağı öngörülmektedir [1].

Bu sebeple enerji verimliliği ve enerji yönetimi kavramları tüm dünya üzerinde önemle durulan konulardandır. Enerji verimliliğinin, sürdürülebilir bir enerji için önemi tüm dünya tarafından bilinmekte ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, çevreye olan zararlı etkisinin azaltılması açısından önem arz etmektedir.

Endüstriyel işletmeler, ekonomik olarak büyümelerinin yanında, önemli bir kaynak olan enerjiyi de yüksek verimlerde kullanmayı hedeflemektedirler. Sürekli artan enerji fiyatları, gelişen teknoloji, enerji arzındaki endişeler, iklim değişikliği gibi etmenler enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaların önemini arttırmaktadır. Özellikle enerji yoğun endüstriyel işletmeler başta olmak üzere, enerji verimliliğinde sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi ve sürdürülebilir hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde, enerji gittikçe daha fazla öneme sahip olduğundan, enerjiyi verimli kullanma prensibine dayanan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS), küçük ya da büyük her türlü idareye uygulanabilecek bir yönetim sistemidir. EnYS tek başına ya da diğer yönetim sistemleriyle birleşik olarak uygulanabilir. EnYS, işletmeler tarafından enerji politikalarının belirlenmesine, amaç ve hedefler doğrultusunda geliştirilen enerji yönetimi programları çerçevesinde enerji tüketimlerini kontrol altına almaya ve enerjinin performansının değerlendirilmesine dayanmaktadır. TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi enerji performansına katkıda bulunan; ölçme, dokümantasyon ve raporlama, donanımın tasarımı ve tedariki

prosesler ve personel ile ilgili şartlar dahil enerji kullanımı ve tüketimine uygulanabilir şartlarını belirlemektedir [2]. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı endüstriyel işletmelerin sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlamasında dünya çapında uygulanabilir bir standarttır. Enerji yönetiminin temeli, birim ürün/çıktı başına tüketilen enerjinin optimize edilerek enerji verimliliğinin sürekli iyileştirilmesine dayanmaktadır. TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi; izleme ve ölçmeyi, dolayısıyla enerji analizini esas alır. Enerji tüketiminin fazla olduğu noktaların tespit edilerek enerji verimliliği uygulamaları ile fazla tüketimin tasarruf edilmesini ister. Bir işletmenin tükettiği enerjiyi en verimli şekilde kullanabilmesi, enerjinin sürekli kontrol altında tutularak izlenmesi ile mümkün olmaktadır. Enerji yönetim sisteminden bağımsız olarak gerçekleştirilen enerji verimliliği faaliyetleri; planlama, bakım, ölçme ve izlemenin olmaması ve tasarrufun takip edilememesi sebebi ile etkili olamamaktadır.

Enerji izleme sistemleri, endüstriyel işletmelerde, görüntüleme ve kumanda gibi işlevleri sebebiyle, işletmede oluşabilecek arıza tespitlerinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Elektronik ve haberleşme teknolojilerinin de hızlı bir gelişme sağlaması sebebiyle, enerji izleme sistemleri endüstride yaygın bir yer tutmaya başlamıştır [3].

Etkin bir enerji yönetim sisteminde enerji izleme ve kontrolü büyük öneme sahiptir. Kaliforniya’da bulunan bir kamu araştırma üniversitesi olan, yaklaşık 22.000 öğrenciye ve 4,5 milyon inşaat alanına sahip Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara enerji tüketim noktalarının gerçek zamanlı veri ve basit zaman serisi görselleştirmesi ile enerji tüketimlerinin tek bir merkezden izleme ve kontrolüne başlamıştır. Enerji izleme sayesinde gece kullanılmayan binalardaki havalandırma fanlarının daha düşük seviyelerde çalıştırılması, aydınlatma sisteminin kontrolü, fan kanat konumlarının ideal konuma getirilmesi vb. sistem optimizasyonları ile 2001 yılı Haziran-Eylül dönemi elektrik tüketiminin, 2000 yılı Haziran-Eylül dönemi elektrik tüketimine göre %13,80 oranında; en yüksek güç talebinin %16,00 oranında ve doğalgaz tüketiminin %10,00 oranında düştüğü tespit edilmiştir [4].

Enerji izleme, işletmelerin proses bazlı veya makine bazlı olarak enerji performans

değerlerinin yanında, işletme için takibinin önemli olduğu çeşitli parametrelerin de kaydedilmesiyle yapılabilir. Bir işletmenin elektrik tüketimi veya doğalgaz tüketimi, izlenmek istenen noktalara konulan sayaçlarla etkin bir şekilde izlenebilir. Bir endüstriyel işletmenin daha kapsamlı olarak tüketimlerini izleyerek iyileştirmeler yapabilmesi için özellikle tüketimin yoğun olduğu makine parkurlarına veya proseslere ayrı sayaçlar koyarak izleme yapması tavsiye edilir. İzlenen veriler kaydedilerek tüketim eğilimleri ve alt kırılımları görebilmek amacıyla analiz edilebilir. Ayrıca işletmede bulunan diğer enerji kaynakları veya buhar, su miktarı gibi tüketimlerin detaylı bir şekilde takibinin yapılması sağlanabilir. Enerji ve diğer kaynakların miktar parametrelerinin yanında sıcaklık, nem, basınç gibi diğer parametrelerde, ilgili yerlere yerleştirilen algılayıcılar ile ölçülüp kayıt altına alınabilir.

Enerji tüketimin izlenerek sürekli olarak kayıt altına almak, enerji tüketimlerinde iyileştirme hedeflerine ne ölçüde yaklaşıldığını veya belirlenen iyileştirme hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığının tespitinde kontrolü güvenli bir şekilde sağlamaktadır. Enerji izleme, iyileştirme hedeflerinin konulmasından sonra gerçekleşen enerji tüketiminin ve enerji maliyetlerinin kıyaslanmasında enerji yöneticisine destek olmaktadır. İyileştirme hedeflerine ulaşılmış olsa bile işletme yapacağı proses değişikliği ile birim ürün başına tüketilen enerjiyi daha da düşürmek isteyebilir. Bunun için iyileştirme çalışmalarından sonra potansiyel tasarruflar değerlendirilebilir.

Enerji verimliliği çalışmalarının işletmeye kazandırdıklarının tespit edilmesinde enerji izleme büyük ölçüde önem arz etmektedir. Bir demir- çelik fabrikasında 1982 yılından itibaren devam eden enerji verimliliğini artırmaya çalışmalarında, birim çelik üretimi için tüketilen toplam enerji miktarı spesifik enerji tüketimi olarak belirlenmiştir. Enerji performans göstergesi (EnPG), endüstriyel işletmenin proseslerinde tükettiği enerji toplamalarının, sürekli döküm prosesi çıkışındaki slab üretimi olan çelik miktarına oranı ile elde edilmektedir. Bu demir çelik fabrikasının yaklaşık olarak 20 yıllık enerji tüketim envanteri, işletmenin enerji birimi tarafından düzenli olarak takip edilmektedir. Spesifik enerji tüketiminin takip edilmeye başlandığı 1982 yılından itibaren, SET değerinde %39 iyileşme olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca bacalara kurulan online izleme cihazlarıyla baca gazı emisyonları sürekli kontrol altında tutulmaktadır [5].

Bu çalışma kapsamında enerji izleme ve kontrol sistemlerinin sürdürülebilir ve sürekli iyileştirme modeli olan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'ne katkıları ele alınarak işletmeler için enerji verimlilik potansiyelleri ortaya konulmaktadır. Ayrıca, bu tür işletmelerde, gelecek yıllara ait politika belirlemelerinde, üretim planlamalarında vb. gibi noktalarda doğru hedeflerin belirlenmesinde önemli bir yeri olan enerji tüketim tahminlemesi için YSA tabanlı bir model geliştirilmiştir.



1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

1.1. Enerji Verimliliği Kavramı

21. Yüzyılda teknolojinin gelişmesiyle birlikte yaşam daha rahat ve konforlu bir hale gelmiştir. Bununla birlikte enerjiye olan ihtiyaç artmıştır. Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle birlikte insanların yaşam ve düşünüş şekilleri de değişmiş ve hayatımızda teknolojik ürünlere daha çok yer verilmeye başlanmıştır. Rahat yaşam ihtiyacı, enerji tüketiminin sürekli artan bir eğilime sahip olmasına neden olmuştur. Günümüzde her geçen gün daha da gelişen sanayi ve teknoloji alanındaki gelişmeler, özellikle sanayi alanındaki enerji tüketimlerini hızla artırmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte mevcut enerji talebinin artmış olması, çevresel sorunlara sebebiyet verse bile fosil kaynaklardan hemen vazgeçilemeyeceğini göstermektedir.

Çevresel etkilerin yanında, enerji özelinde gerçekleşen arz, talep, maliyet gibi sürekli değişkenlik gösterebilen parametreler, işletmelerin enerji tüketim alışkanlıklarında değişiklikler yapmaya zorlamıştır. Bu zorlayıcı alışkanlıklar, enerji verimliliği ve enerjinin yönetimi gibi kavramların oluşmasını sağlamıştır.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de nüfusun artmasıyla birlikte, enerji tüketimi de artış eğilimi göstermiştir. Enerji kaynakları bakımında dışa bağımlı olan Türkiye’nin, gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte artan enerji tüketimlerini karşılayabilmesi amacıyla enerjisini verimli kullanması bir zorunluluk haline gelmiştir. Tüm dünyada önem taşıyan bir kavram olan enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kalitenin düşürülmeden en aza indirilmesi olarak tanımlanabilir. Enerji verimliliğini daha geniş tanımına bakılırsa, elektrik, ısı, hava, buhar kayıplarının en aza indirilerek, işlem sonrası oluşan atıkların geri kazanılarak başka bir işlemde değerlendirilmesi veya kullanılan kaynakların geri kazanılarak etkinliği artıran önlemlerin tamamıdır [6]. Enerji yönetimi ise enerji verimliliği tanımından yola çıkılarak, enerji kaynaklarının ve enerjinin en verimli

şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla planlanan eğitim, enerji etüdü, ölçüm faaliyetleri, enerji izleme, planlama ve uygulama faaliyetlerinin tamamıdır [7].

Enerji verimliliğini pasif ve aktif enerji verimliliği olarak iki grupta incelemek mümkündür. Enerji tüketiminin ölçülerek izlenmesi ve enerjinin düzenli bir şekilde kontrolü ile kalıcı değişiklikler yapılması işlemine aktif enerji verimliliği denir. Isıl kayıpların giderilmesi, daha verimli ekipmanların kullanımına geçilmesi gibi önlemler alınmasına ise pasif enerji verimliliği denir [8].

1.2. Ülkemizde Enerji Verimliliğine Genel Bakış

Yoğun enerji ihtiyacının ortaya çıkması sonucu, geleceğimizi etkileyebilecek en önemli ihtiyaçlarımızdan biri de enerji olmuştur. Sürdürülebilir bir kalkınma sağlamak ise ancak enerjinin daha verimli kullanılarak tüketimlerin azaltılması ile mümkün olur. Ülkemizde gün geçtikçe daha da artış gösteren nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaçların yeterince karşılanabilmesi için enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Avrupa ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerle karşılaştırdığımızda enerjiyi verimli kullanma konusunda çalışmaların artırılması gerektiği açıkça gözükmemektedir. Sanayide tüketilen enerji miktarının toplam enerji tüketim miktarı içindeki payının büyük ölçüde yüksek olması sebebiyle sanayi sektöründe alınacak her tedbir büyük bir öneme sahiptir. Sanayileşmede yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih ve teşvik edilmesi, sanayi kuruluşlarındaki enerji kullanımının verimli hale getirilmesi gibi müdahaleler, küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından tedbir alınacak önlemlerdendir. Tüm bu itici etkenler ile birlikte enerji verimliliği çalışmaları dünya genelinde ve Türkiye’de bir hayli önemli bir konu haline gelmiştir [9].

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye’nin elektrik ihtiyacı her yıl %7-8, birincil enerjiye duyulan ihtiyaç ise, her yıl %3-4 artmaktadır. Enerjideki açık nedeniyle başka ülkelere ithal edilmesi sebebiyle cari açığa artışlar yaşanmakta ve bu sebeple enerjide dışa bağımlılığımız da artış göstermektedir. Böylece, enerji verimliliği ile elde edilebilecek her tasarruf miktarı çok büyük öneme sahip olmaktadır. Dolayısıyla, gelişmiş ülke kriterlerinden olan yüksek tüketim, düşük enerji yoğunluğu şartını sağlayabilmemiz için enerji verimliliği konusunda bilinçli olmamız

vazgeçilmez bir şart olmuştur.

Hayatımızda enerji tüketimi olan her noktada enerji verimliliğini ve enerji tasarrufunu bir kültür haline getirmeliyiz. Bu konulara dikkat etmediğimiz takdirde, başarıya ulaşma süremizde gecikmeler yaşarız. Kaynakların yetersizliği söz konusu olsa bile, bunu bir sürece yayarak, öncelikle kısa vadeli projelerin yapılması gerekliliğini benimsememiz gerekmektedir.

Enerji yoğunluğunu tanımlamak gerekirse, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) ya da bir birim katma değer üretebilmek amacıyla tüketilen birincil enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Enerji yoğunluğu, enerji verimliliğini sağlamadaki en önemli göstergelerden bir tanesidir. Gelişmiş ülkeler sınıfına giren ülkeler, halen gelişmekte olan ülkelere göre, daha az enerji tüketerek aynı GSMH'yi elde edebilmektedirler. Dolayısıyla, gelişmekte olan ülkelerin kalkınma planlarına bakıldığında, enerji verimliliğinin artırılmasına dair alınacak önlemlerin ilk sıralarda yer aldığı ve üzerinde önemle durulduğu belirtilmektedir [10].

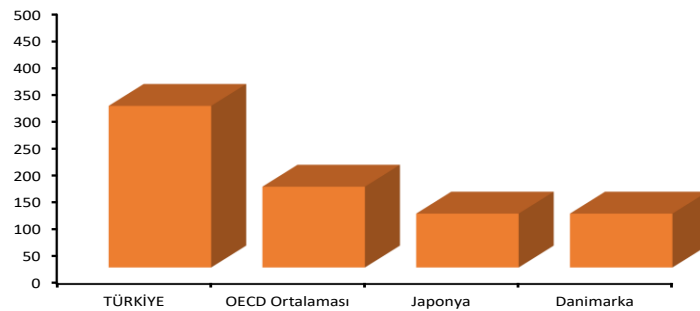
Bir ülkede enerji yoğunluğunun düşük olması, o ülkede birim ürün üretebilmek için tüketilen enerji miktarının da düşük olduğunu göstermektedir. Yani, o ülkede enerji verimliliği çalışmalarının yoğun bir şekilde yapılması, enerji yoğunluğunun da düşük olmasının bir göstergesidir [11].

2017 yılı verilerine göre, OECD ülkelerinin elektrik tüketimi içerisinde sanayinin payı %32,2 olurken, OECD üyesi olmayan ülkelere, elektrik tüketiminin sanayi sektöründe payı %46 olmuştur. Tez kapsamında incelenen demir çelik sektöründe ise enerji tüketimlerinde önemli bir paya sahiptir. Endüstriyel işletmeler, genellikle en ucuz yakıtları kullanmayı tercih ederler. Sanayi sektöründeki, yakıt tüketimlerine bakıldığında özellikle sıvı yakıt tüketimleri katı yakıtlara göre daha düşük oranda kullanılmaktadır. Bunun sebebi sıvı yakıtların katı yakıtlara göre daha pahalı olmasıdır. Bu sebeple yıllık sıvı yakıt tüketimi yıllık bazda sadece %0,68 oranında artış göstermektedir. Endüstriyel işletmelerde, sıvı yakıt kullanımında giderek bir azalma görülmektedir. Fakat, sıvı yakıt kullanımındaki azalmaya kıyasla elektrik

tüketimindeki artış oranı yaklaşık olarak %3,5 civarlarındadır [12]. Türkiye 2018 yılı enerji tüketimleri dikkate alındığında, enerji tüketiminin yaklaşık %45,60'ının sanayi alanında tüketildiği görülmektedir. Sanayi sektöründe 2000 yılında %49,7'lik bir paya sahip olan elektrik tüketimi, 2010 yılında %46,1 olmuştur. Sanayi sektörü ele alındığında son 15 yıldır birincil enerji tüketiminde hakim tüketici olarak yer almaktadır. 2008 yılı ekonomik kriz sebebiyle sanayi sektöründe tüketimlerde düşüş yaşanırken binalarda enerji tüketimi yıl içerisinde toplam tüketim içerisinde meskenlerde %24,4 olurken, ticaret ve kamu hizmetlerinde %23,3'lük bir tüketim payına sahip olmuştur. Ekonomik krizin ardından 2010 yılında üretimde yaşanan artışla birlikte, sanayide tüketimin de artmasıyla sanayi sektörü elektrik tüketimi, %46,1'lik bir paya sahip olmuştur [13].

Sanayi sektöründe enerjinin yoğun olarak kullanıldığı ve enerji yoğun sektör olarak nitelendirilebilecek çimento, cam ve demir çelik sektörleri ülkemiz endüstrisinde büyük paya sahip olan sektörlerdendir. Enerji yoğun olarak nitelendirilen sektörlerde üretim maliyetleri ele alındığında, enerji maliyetleri ciddi bir pay oluşturmaktadır. Bu sektörlerde, toplam maliyetlerin %20-%50'sini enerji maliyetleri oluştururken bu oran tekstil, kimya ve gıda gibi sektörlerde yaklaşık %10 civarlarındadır [6].

Türkiye'de bin dolarlık milli hasıla üretebilmek için yaklaşık olarak 300 litre petrol eşdeğeri enerji tüketmekteyiz. OECD ülkelerine bakıldığında ise bu değer 200 litre petrol eşdeğeri, Japonya ve Danimarka'da ise 100 litre petrol eşdeğeri olmaktadır. Bu da şu anlama gelmektedir ki; aynı ürünü üretebilmek için OECD ülkelerinin yaklaşık iki katı, Japonya ve Danimarka gibi ülkelerin ise üç katı daha fazla enerji tüketimine sahibiz. Şekil 1.1'de OECD ülkelerine, Japonya ve Danimarka ülkelerine karşın Türkiye'nin enerji yoğunluğu gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji yoğunluğunun karşılaştırılması

2012 yılında yayınlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde (2012-2023), Türkiye 2023 yılı enerji yoğunluğunun, 2011 yılı enerji yoğunluğuna göre %20 oranında azaltılması hedeflenmiştir [14]. Belirlenen bu hedefe ulaşabilmek amacıyla 7 stratejik amaç oluşturulmuş ve bu amaçlarda ilk sırada yer alan amaç, hizmet ve sanayi sektörlerinde enerji yoğunluğunu ve kayıpları azaltmak olarak belirlenmiştir.

Günümüzde enerji tasarrufu, herhangi bir kuruluşun enerji tüketimini azaltmanın nedeni değildir. Aksine, önem verilmesi gereken iki temel faktör vardır. İlk faktör, enerji verimliliğini artırarak ek karlar elde etmek; ikincisi ise, enerji tasarrufunun çevre üzerindeki önemini fark ederek, küresel ısınma tehdidine karşı en hızlı ve en uygun maliyetli önlemleri almaktır. Bu bağlamda, enerji verimliliği, küresel ısınmanın temel çevresel çözümlerinden biri olarak düşünülmelidir. Enerji verimliliği konusu piyasada büyük tüketime sahip olan, özellikle enerji yoğun sektörlerin önem verdiği bir konu olurken, bu konuda bazı ülkeler ilk sıralarda yer almaktadır. Tablo 1.1'de enerji verimliliği açısından ülke puan sıralaması yer almaktadır. Tablo 1.1'e göre gelişmiş ülkelerin tablonun ilk sıralarında yer alması bir tesadüf değildir. Bu ülkelerin enerji tüketimlerinin yüksek oranda olması, o ülkelerin enerjiyi verimli kullanmaya iten bir neden olmaktadır.

Tablo 1.1. Enerji verimliliği açısından ülke puan sıralaması [15]

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

Tablo 1.1. (Devam) Enerji verimliliği açısından ülke puan sıralaması

18	Avustralya	40,50
19	Ukrayna	38,00
20	Brezilya	36,50
21	Rusya	34,50
22	Tayland	29,00
23	Güney Afrika	23,50
24	BAE	18,00
25	Suudi Arabistan	16,50
18	Avustralya	40,50
19	Ukrayna	38,00
20	Brezilya	36,50
21	Rusya	34,50
22	Tayland	29,00
23	Güney Afrika	23,50
24	BAE	18,00
25	Suudi Arabistan	16,50
18	Avustralya	40,50
19	Ukrayna	38,00
20	Brezilya	36,50
21	Rusya	34,50
22	Tayland	29,00
23	Güney Afrika	23,50

1.3. İşletmelerde Enerji Verimliliği Odakları

Gelişen teknoloji ve nüfus ile birlikte, gün geçtikçe daha da artan enerji tüketiminin azaltılması ve böylece enerji yoğunluğunun düşürülmesi, uluslararası rekabet sağlamak amacıyla da büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel işletmelerde, enerji verimliliğini sağlamak amacıyla, özellikle tesisin yardımcı işletmelerine yönelinmelidir. Özellikle pompa sistemleri, buhar sistemleri, basınçlı hava sistemleri, kazanlar, fan sistemleri, ısıtma ve soğutma sistemleri, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ile elektrik motorları ve aydınlatma sistemleri üzerine verimliliği arttırıcı çalışmalar yapılarak enerji verimliliği arttırılmaya çalışılmalıdır. Bu bölümde bir endüstriyel işletmede enerji verimliliği sağlanabilecek temel bileşenler ele alınmıştır.

1.3.1. Pompalarda enerji verimliliği

Bir endüstriyel işletmede tüketilen enerji miktarının yaklaşık olarak %70'ini elektrik motorları tüketmektedir. Bu oranın yaklaşık %20'lik kısmını ise pompalama sistemleri oluşturmaktadır [16]. Bir pompada yapılacak enerji verimliliği çalışmaları ve

iyileştirmeler sonucunda yaklaşık olarak %30'a kadar enerji tasarrufu sağlanabilir [17]. Amerika Hidrolik Enstitüsünün yaptığı bir çalışmada gelişmiş ülkelerce tüketilen enerjinin %20'si santrifüj pompalarca kullanılmaktadır [18]. Pompalar özellikle endüstride yoğun olarak kullanımlarının yanında, hayatımızda birçok alanda yaygın olarak kullanımı bulunmaktadır. Genellikle tarımsal sulama işlemlerinde, binalarda, endüstriyel alanlarda, ısıtma ve soğutma uygulamalarında, atık su sistemlerinde ve barajlarda yaygın kullanıma sahiptirler. Özellikle endüstriyel işletmelerde işletmenin toplam enerji tüketiminin %20'si ile %50'sini oluşturabilmektedirler. Bu sebeple pompalarda yapılacak seçimler ve mevcut pompaların iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Doğru pompa seçimi, basınç kayıplarının hesaplanarak kayıpların en düşük seviyelerde tutulması, doğru sistem tasarlanması, otomasyon sistemlerinin kullanılması ve yeni teknolojilerin pompa sistemlerinde kullanılması ile pompalarda tüketilen enerjinin yaklaşık %30'u tasarruf edilebilir [19]. Tüm bu sebeplerden dolayı ve yapılabilecek küçük değişimlerle tasarruf potansiyelinin fazla olması, pompaları enerji verimliliğinin sağlanmasında önemli bir başlık olarak ele alınmasını sağlamıştır.

1.3.2. Kompresörlerde enerji verimliliği

Atmosfer veya ortam havasının emilerek kompresör içerisinde sıkıştırılmasıyla basınçlı hava elde edilir. İşletme karakteristikleri basınçlı havayı cazip bir enerji taşıyıcısı haline getirmektedir. Çünkü hava, atmosferden alınarak geri dönüş hattına ihtiyaç duyulmaksızın atmosfere atılabilmektedir [19]. Basınçlı hava, endüstriyel işletmelerde üretimin çeşitli aşamalarında kullanılan önemli bir girdidir. Otomotiv sektöründe basınçlı hava; su, elektrik ve doğalgazın ardından, üretim süreçlerini kolaylaştıran 4. önemli girdi olarak nitelendirilmektedir [20]. Basınçlı hava sistemleri, birçok endüstriyel işletmede elektrik tüketiminde 3. sırada yer almaktadır [21]. Ayrıca basınçlı hava AB elektrik kullanımının %10'luk bölümünü oluşturmaktadır [22]. Bu nedenle, enerji maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemli sistemlerdendir. Eski kompresör sistemlerinde enerji tüketimi çok fazla olacağından dolayı, eski kompresör sistemlerine sahip işletmeler daha verimli yeni kompresörlere geçiş yapması durumunda enerji verimliliği sağlamış ve daha iyi bir enerji yönetimi stratejisi

uygulamış olacaklardır. İşletmede yaşanan proses değişiklikleri anlık hava ihtiyacını artması gibi sebeplerden dolayı artışları dengelemek için yedek kompresörlerin sisteme dahil edilmesi veya dizaynı doğru yapılmış hava tanklarının sisteme eklenmesi işletmenin basınçlı hava sisteminde yaşayacağı problemlerin önüne geçebilecektir. İşletmenin ihtiyaç duyduğu hava miktarının değişken olduğu durumlar için, kompresörlerin boşta çalışmasını engelleyebilmek adına değişken hız sürücülerini ile enerji tüketimi düşürülerek enerji verimliliği sağlanabilmektedir.

Kompresörün verimli çalışmasını etkileyen önemli parametrelerden biri de kompresör çıkış basıncıdır. Tasarım değerlerinden daha fazla oranda basınçlı hava üretmeye çalışan bir kompresörün enerji tüketimi daha fazla olacaktır. Örneğin, 8 bar çalışma basıncına göre tasarlanmış bir kompresörde, basınç değerinde meydana gelebilecek her 150 milibarlık artış, enerji tüketimini %1 oranında arttırmaktadır. Bu sebeple, kompresörlerin tasarım değerleri olan basınç değerlerinin üzerine çıkılmaması önem arz etmektedir. İhtiyaç duyulan basınç değerinden fazlasına ayarlanan basınç seviyeleri, ihtiyaç duyulan basınç seviyelerine çekilebilir. Genellikle kompresör çıkışında oluşan basınç değeri ile kompresörün son kullanım noktası arasındaki basınç kayıplarını telafi edebilmek amacıyla kompresör basınç değerleri arttırılır. Basınçlı hava sisteminde oluşan hava kaçakları ya da hava taşıma sistemindeki fazladan ekipmanlar performansın düşmesine ve kompresörün gereksiz enerji tüketmesine sebep olmaktadır.

Kompresörlerde kullanılan elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmı ısı enerjisine çevrilmektedir. Bu sebeple kompresöre eklenecek bir ısı geri kazanım sistemi ile sıcak su elde edilmesi veya ortam ısıtması yapılması büyük oranda tasarruf yapılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple işletmeye uygun tasarlanmış bir ısı geri kazanım sistemi ısı enerjisinin yaklaşık %50-%90 oranında yararlı enerjiye dönüştürerek enerji verimliliği sağlanmasına katkıda bulunur.

Bir işletmede bulunan hava kaçakları, işletmenin basınçlı hava sisteminde düşük performansın temel sebeplerinden biridir. İşletmede karşılaşılan örnekler esas alınarak bazı durumlarda, basınçlı havanın yaklaşık %20-%30'u kadarı işletmede kullanılmadan atmosfere atılmaktadır. Bu da gerekli basınç ihtiyacının karşılanması

için fazla basınç miktarına, dolayısıyla fazla enerji tüketimine sebep olmaktadır. Düzgün tasarlanmış bir hava hattı ve sistemdeki hava kaçaklarını da giderilmesi ile hava tüketimin yaklaşık %90 oranında yararlı işe çevrilebilir. Hava kaçaklarının da önlenmesi ile kompresör çıkış basıncındaki düşüşler engellenerek son kullanım noktalarındaki ekipmanların verimsiz çalışmasının önüne geçilmiş olur [23].

1.3.3. Kazanlarda enerji verimliliği

Bir endüstriyel işletmede ısı ihtiyacının karşılanması için kullanılan kazanlarda, yanma sisteminin optimize edilmesi, yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin kazan içindeki akışkana transfer oranı, baca gazı emisyonlarının standart değerlerde olması, brülör tasarımları enerji verimliliğini belirleyen unsurlardandır. Kazanlarda, veriminin yüksek seviyelerde tutulabilmesi ve emisyonların kontrol edilebilmesi için baca gazı analizörü ile baca gazı emisyonlarının sürekli kontrol altında tutulması ve periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. Böylece kazanlarda verimsizliğe yol açan etkenler önceden tespit edilerek gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

1.3.4. Aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği

Aydınlatma sistemleri, enerji tüketimini büyük ölçüde etkileyen ve bu sebeple enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu sistemlerdir. Endüstriyel işletmelerde, tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si aydınlatma sistemleri tarafından tüketilmektedir. Bu oranlar, konutlarda, mağazalarda, yol aydınlatmalarında daha da yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Bu sebeple, aydınlatma sistemlerinde verimlilik çalışmalarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Aydınlatma sistemlerinde, verim sınıfı yüksek armatürlerin kullanılması ile büyük ölçüde enerji tasarrufu elde edilebilir. Fakat, istenilen yerde, istenildiği zaman ve istenildi kadar aydınlatma yapma özelliği bulunmayan, kısaca kontrol edilemeyen bir aydınlatma sistemi günümüz ekonomik ve teknolojik koşullarına uyum sağlayamamaktadır [23].

Gelişen teknoloji, artan nüfus ve ekonomik nedenlerle enerji verimliliği sağlayan yöntemlerin uygulanması herkesçe uygulanmayı gerektiren şeyler olmuştur. Aydınlatma sistemlerinin fazla enerji harcayan sistemler olması sebebi ile, aydınlatmada verimlilik sağlamak tüm kullanıcılar için büyük önem arz etmektedir.

Bir aydınlatma sisteminde aydınlatma kalitesinden ödün vermeden daha düşük enerji tüketimleri ile yüksek ışık seviyesi elde etmek mümkündür. Özellikle işletmelerde gün ışığından yararlanmak, işletmelere büyük avantajlar sunmaktadır. Gün ışığından faydalanılan sistemlerin tasarlanması yaygınlaştırılmalıdır. Bir aydınlatma sisteminde armatür tiplerini seçerken lümen değerinin yüksek olmasına ve yüksek verimlilik sınıfına sahip olmasına dikkat edilmelidir. Böylece daha düşük tüketimlerle daha kaliteli ve yüksek seviyelerde ışık seviyesi sağlanabilir. Günümüzde her aydınlatma alanında LED ile aydınlatma teknolojisinin kullanılmasına başlanmış olsa da bu teknoloji yaygınlaştırılarak LED'lerin kullanımı daha da arttırılmalıdır.

Aydınlatmanın hareket sensörleri ile kullanılması, özellikle sürekli kullanılmayan veya kullanıldığında kontrolü sağlanamayan aydınlatma sistemlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Hareket sensörleri ile ofislerde %20, tuvaletlerde %70, depolarda %40, sınıflarda %50 ve otel odalarındaki tuvaletlerde %65 oranlarında enerji tasarrufu sağlanabilir [24]. Gün ışığından yararlanan bir aydınlatma sisteminde, gündüz saatlerinde aydınlatma enerjisinden %30 oranında tasarruf sağlanabilir [25].

1.3.5. Elektrik motorlarında enerji verimliliği

Bir endüstriyel işletmede elektrik motoru içeren birçok ekipman bulunmaktadır. Bu sebeple elektrik motorlarında enerji verimliliği çalışmaları yapmak oldukça önemlidir. Endüstriyel işletmenin elektrik motorlarında enerji verimliliği çalışmaları yapılırken, en yüksek performans elde etmek için yardımcı işletmelerde bulunan pompaları, kompresörleri ve fanları ele almak gerekmektedir. Yüksek enerji sınıfı elektrik motorları kullanılarak enerji kayıpları düşük seviyelere indirilebilir. Elektrik motorunun tasarımının iyi olması, daha iyi malzemelerden yapılmış olması, sargı kalitesi enerji kayıplarını azaltır. Verimli motor kullanımı ile, endüstriyel işletme ısıtma yüklerini azaltır. Böylece motorların ömrünün ve servis sürelerinin uzamasını sağlayabilir. Elektrik motorlarında kullanılan değişken hız sürücüleri ile motorun hızı istenilen seviyelere çekilebilir böylece daha iyi eşleşme hızları sağlanabilir. Elektrik motorlarının enerji tüketimi, hızın küpü ile orantılı olduğu için, akışta olan hız düşümleri önemli miktarlarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

Elektrik motorlarında güç faktörü kavramı, aktif gücü görünür güce bölünmesi ile elde edilir. Güç faktörü, elektrik gücünün ne kadar etkin bir şekilde kullanıldığının bir göstergesidir. Güç faktörünün bire yakın olması, elektrik gücünün daha verimli kullanıldığını, daha düşük seviyelerdeki güç faktörü ise elektrik gücünün verimsiz kullanımını gösterir. Güç faktörünün düşük olduğu elektrik motorları, aktif güç yanında, iş yapma özelliği olmayan reaktif güçte taşıdığından dolayı, şebekelerin boş yere yüklenmesine ve verimin düşmesine sebep olurlar. Bu nedenle, güç katsayısının mümkün olduğunca yüksek olabilmesi için bu faktörün düzeltilmesi gerekmektedir. Elektrik motorlarının AC devresine kondansatörler eklenerek güç faktörü düzeltilebilir. Enerji izleme sistemleri ile güç faktörü takip edilerek sürekli olarak takip edilebilir. Böylece işletmenin reaktif güçten dolayı ceza ödemesi de engellenmiş olur.

1.4. Enerji Verimliliğinde Bilinçlendirme Faaliyetleri

Enerji verimliliği, temelinde insan faktörünü barındıran teknik bir sorundur. Diğer bir deyimle, enerji yönetiminin başarısı insan odaklıdır. Bu sebeple, her bir bireyin enerji yönetimine etkin bir şekilde dahil edilmesinde, enerji verimliliği bilinçlendirme faaliyetleri ve yürütülen kampanyalar büyük öneme sahip olmaktadır. Enerji verimliliği konusunda bilinç sahibi olan Kanada’da kurulan ISO 50001 enerji yönetim sistemi ile sistemin ilk 18 ayın sonunda yaklaşık %10 civarında, dört yılın sonunda ise, yaklaşık %20 civarında tasarruf elde edildiği gözlemlenmiştir [26].

Bir endüstriyel işletmede, enerji verimliliği çalışmalarının yürütülerek farkındalık çalışmalarının uygulanması, o işletmenin giderlerini düşürerek, işletmenin konforunu arttırır. Aynı zamanda çevreci bir yaklaşımın benimsenerek enerji yönetiminin iyileştirilmesine büyük oranda katkı sağlamaktadır. Bir bilinçlendirme programı, bir enerji verimliliğinin toplam amaçlarını destekleyip, güçlendirir. Bir bilinçlendirme programı:

- Enerji verimliliği yararlarının anlaşılmasını artırabilir.
- Kişilerin davranışı ile faaliyetleri ve enerji kullanımı ile potansiyel tasarrufları arasında bir bağ oluşturabilir.
- Enerji tüketimini etkileyen davranışı düzeltmede kullanıcıları özendirebilir,

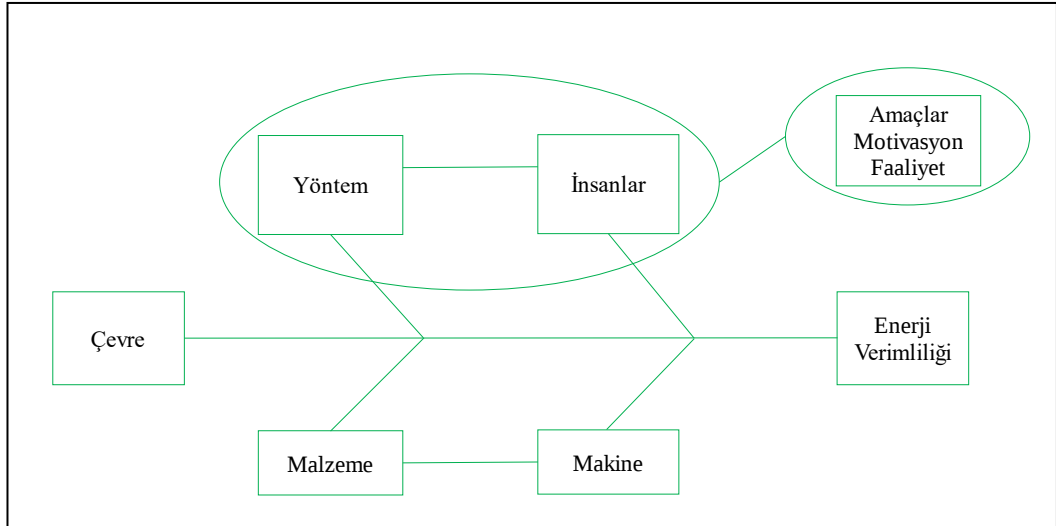
- Enerji tüketimini azaltıp, mali tasarruf sağlayabilir.

Enerji yönetiminin başarıya ulaşması işletmedeki personellerin enerji verimliliği konusunda bilinç sahibi olmasına ve enerji yönetiminin faydalarını benimsemesine bağlıdır.

Personeli bilinçlendirme programı aşağıdaki yararları da sağlayabilir.

- Ortak bir amaca ulaşmak için birlikte çalışmayla verimliliğin ve itici morallerin artması,
- Sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla, daha sağlıklı bir çevreye katkı konulması,
- Toplumda çevresel yönetimde lider olarak, göz önüne alınan kuruluşun yeşil imajının artırılması.

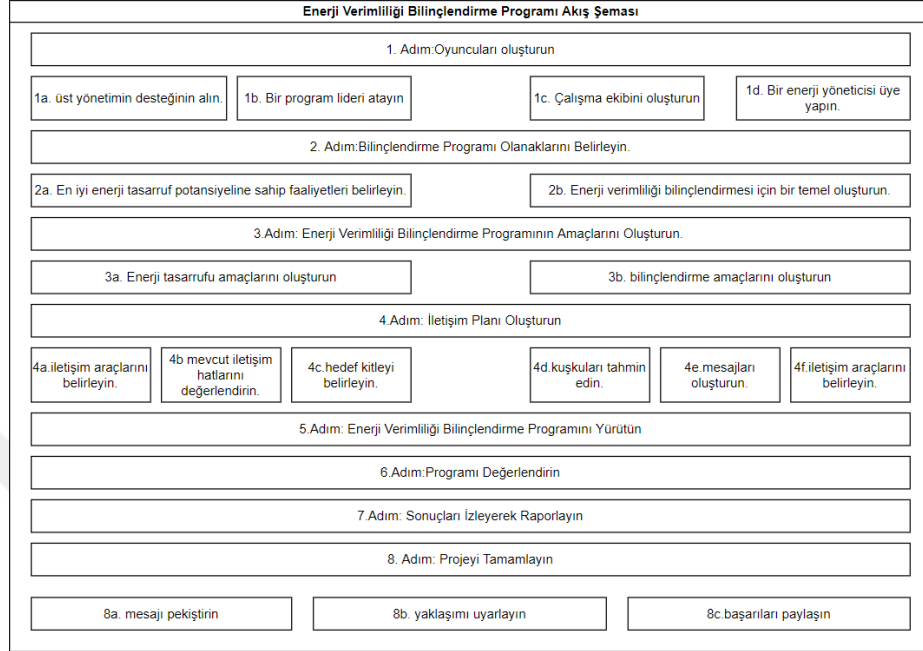
Birçok kuruluştta, iyi iş idaresiyle ve enerjinin son kullanıcıları olan çalışanın bilinçlendirme ile motivasyon düzeylerinin arttırılmasıyla, enerji tasarrufu sağlamak için son derece fazla potansiyel vardır. Toplam yıllık enerji faturasının %1'i kadar tasarruf sağlanabilir. Son kullanıcılar, atıklardan kaçınma ve enerji tasarrufu sağlamak için kişisel girişimlerde bulunmada cesaretlendirilmelidir. Enerji verimliliğini belirleyen beş faktör Şekil 1.2'de gösterilmiştir [27].



Şekil 1.2. Enerji verimliliğini belirleyen beş faktör [27]

Etkin bir bilinçlendirme programı, endüstriyel işletmelerin enerji maliyetlerinin düşürülmesi için, düşük maliyetli, daha kolay ve daha az riskli bir yöntem olmaktadır. Uzun süreli bir enerji yönetimi programıyla bağlantı kurularak, bir enerji izleme

sistemiyle kuruluştta ücretsiz işletme ve bakım kaynaklarını devam ettirecek giderlerden tasarruf sağlama potansiyeli olacaktır. Şekil 1.3'te enerji verimliliği bilinçlendirme programı akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Enerji verimliliği bilinçlendirme programı akış şeması [8]

Enerji verimliliği akış şeması belirlendikten sonra Tablo 1.2'deki gibi bir zaman çizelgesi hazırlanabilir. Çizelgedeki her bir adım için gerekli zaman, kuruluşun büyüklüğüne, çalışanların ve/veya bina kullanıcılarının sayısına, işletmenin kullanma ve işletme saatlerine ve programın ölçeğine ve karmaşıklığına göre değişir.

Tablo 1.2. Enerji verimliliği akış şeması zaman çizelgesi [8]

Adımlar	Ay veya Hafta											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Adım Oyuncuları Oluşturun												
2. Adım Bilinçlendirme Programı Olanaklarını Belirleyin												
3. Adım Enerji Verimliliği Bilinçlendirme Programının Amaçlarını Oluşturun												

tek bir enerjiye odaklanmak için, üç ayrı konu (elektrik, doğalgaz ve basınçlı hava) işlendi. Elektrik kullanımında (basınçlı hava dahil) %10'luk ve ayrıca gaz tüketiminde %2,5'lik tasarrufa ulaşıldı.

Çalışanların dikkatinin çekilmesi için uygulanacak yöntemlerinden biri de belirli etkinlikleri içeren kontrol listelerinin hazırlanmasıdır. Bunun yanı sıra bazı durumlarda kolayca anlaşılacak şekilde sayısal değerleri içeren bilgileri vermek de yararlıdır; örneğin herhangi bir uygulamadaki enerji tasarrufundan söz ederken “5 milyon kJ/h tasarruf ediliyor” demek yerine, bunun eş değerini m³ yakıt/yıl veya kışın ısıtılan ev sayısı olarak belirtmek, daha anlamlı olmaktadır [8].

- Enerji tasarrufu ile ilgili çalışmaların sürekli olarak duyuru panolarına asılması veya şirketin bülteninde yer alması,
- Bütçeleşmiş enerji harcamalarının ve enerji tasarrufu uğraşlarının etkin olarak yürütülmemesi durumunda gerekli olan harcamaların kıyaslanması yayınlanmalıdır.
- Fikirleriyle özel katkılar koyan çalışanların tanıtılması, kutlama mektuplarının yazılması gibi motivasyonu artırıcı etkinliklerde bulunulur.

2. ENERJİ YÖNETİMİ VE ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

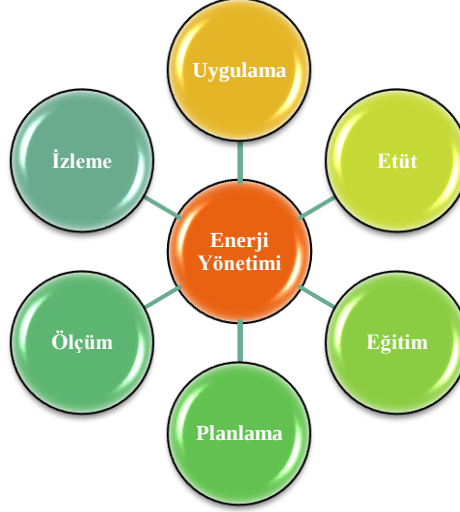
2.1. Enerji Yönetimi Kavramı

Enerji yönetimi kavramı, enerji verimliliği için yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Enerji yönetimi, enerji ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesinin sağlanabilmesi için düzenlenen eğitim, yapılan enerji etütleri, enerji ölçüm ve izleme sistemleri, enerji planlamaları ve her türlü iyileştirme çalıştırmalarını içermektedir. Aynı zamanda, kaliteden ödün vermeden ve üretimi azaltmadan enerji kaynaklarının ve enerjinin daha verimli kullanımını sağlamak amacıyla organize edilmiş disiplinli bir çalışmayı ifade eder. Yapılan çalışmalar kapsamında enerji yönetim faaliyetleri ile yürütülen verimlilik artırıcı proje ve iyileştirme çalışmaları sonucunda %5 ile %15 arasında iyileşmeler sağlanabildiği görülmüştür [28]. Enerji tasarrufunun önemi büyük ölçüde enerji tasarrufu ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu küresel ihtiyaç enerji fiyatlarını, emisyon hedeflerini ve mevzuatı etkilemektedir, bu da tüm bunların insanların kuruluşlarında özel olarak enerji tasarrufu yapmasının birkaç zorlayıcı nedenine yol açmaktadır. Yüksek enerji tüketimine sahip olan endüstriyel işletmeler enerji tüketimlerini azaltmayı önemli bir sorun olarak görmüşlerdir. Özellikle sanayi alanında, ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması ve enerji kayıplarının düşürülmesi gibi daha kısa geri ödeme süresine sahip projeler ön plana çıkmıştır. Enerji verimliliğinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için, endüstriyel işletmelerde aşağıdaki temel konular benimsenebilir. Bu konular;

- Enerji yönetim sistemi ile enerji tasarrufu sağlama
- Teknolojik uygulamalar ve enerjiye dair yeni yatırım kararları
- Enerji politikalarının uygulanması ve yasal düzenlemeler ile enerji tasarrufu

Enerji yönetimi, karlılığı maksimize etmek ve rekabetçi konumlarını geliştirmek için enerjinin etkin kullanılmasıdır [6]. Talep edilen enerjinin istenilen zaman ve yerde karşılanabilmesi enerji yönetimini ifade eder. Bunu sağlayabilmek için endüstriyel

işletmelerde enerjinin kullanıldığı proseslerde spesifik enerji tüketimini azaltılmak veya aynı birim ürün üretebilmek için daha az enerji maliyeti ile sağlamak gereklidir. Şekil 2.1’de enerji yönetimi aşamaları gösterilmiştir. Enerji yönetiminin en önemli aşamalarından biri de izleme aşamasıdır.



Şekil 2.1. Enerji yönetimi aşamaları

Enerji yönetimi, kurumun enerji tüketimini kontrol etme ve azaltma aracıdır. Kuruluşun enerji tüketimini kontrol etmek ve azaltmak da önemlidir. Çünkü tesisin şunları yapmasını sağlar:

Maliyetleri azaltır. Enerji maliyetleri, gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Kuruluş karbon emisyonlarını ve tesisin yol açtığı çevresel zararın etkilerini azaltarak yeşil ve sürdürülebilir bir imaj oluşturmak için çabalamalı ve istekli olmalıdır.

Riskleri azaltır. İşletmelerde enerji tüketimlerinin çok fazla olması enerji fiyatının da orantılı olarak artmasına sebep olur. Aynı zamanda enerji arz kıtlığı, karlılığı ciddi şekilde etkileyebileceği veya hatta işletmenin / kuruluşun devam etmesini imkânsız hale getirme riskini arttırmaktadır. Enerji yönetimi ile tesis, enerji talebini azaltarak ve daha öngörülebilir hale getirmek için kontrol ederek bu riski azaltabilir. Enerjinin daha yönetilebilir olmasını sağlayarak işletmenin gelecek yıllardaki enerji tüketim projeksiyonuna göre aksiyon alınmasını sağlar.

2.2. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi

Enerji yönetim sistemi standardı, bir işletmedeki enerji verimliliğine dair faaliyetlerin desteklenmesi ve geliştirilmesi amacıyla yapılması gereken yönergeleri belirlemede ve gerekli sistemlerin kurulmasında işletmelere yardımcı olmaktadır. Sistematik bir enerji yönetiminin belirlenmesi ile, enerji tüketimleri ve dolayısıyla enerji maliyetlerinde azalma sağlayacaktır. Aynı zamanda karbon emisyonlarının azalmasını sağlayarak çevreye katkı sağlayacaktır. Enerji yönetim sistemi standardı, işletmenin önemli enerji tüketim noktaları hakkında standardın belirlediği şartlara uygunluk sağlanması ve bir enerji politikasının düzenlenerek, işletmenin bu politikaya uygun davranmasını mümkün kılacaktır. ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminde PUKÖ döngüsü olarak isimlendirilen bir yöntem kullanılmaktadır. Bu döngü aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

Planla: Endüstriyel işletmenin, belirlediği enerji politikasına göre sonuçlara ulaşabilmek için gerekli amaçları ve prosesleri oluşturmaktır.

Uygula: Enerji yönetiminin sağlanması için belirlenen faaliyetlerinin yürütülmesidir.

Kontrol et: Enerji politikası, amaçlar, hedefler, yasal uyumluluklar ve işletmenin uyması gereken diğer şartlara karşı proseslerin izlenerek ölçülmesi ve kayıtların tutulmasıdır.

Önlem Al-Düzelt: Enerji yönetim sisteminin etkinliğinin sürekli kontrol altında tutularak iyileştirilmesi için faaliyetlerde bulunulmasıdır. Şekil 2.2’de EnYS’de PUKÖ döngüsü şematik olarak gösterilmiştir.

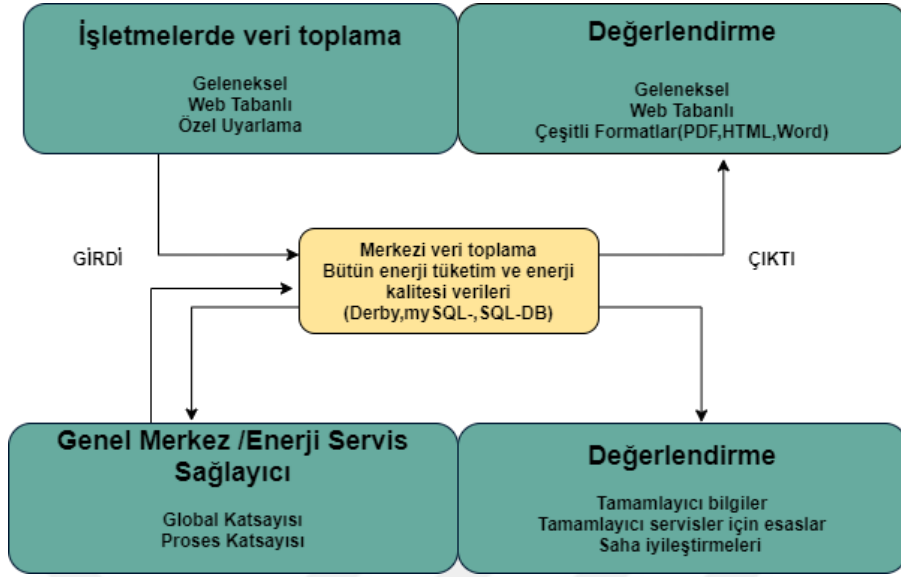


Şekil 2.2. PUKÖ döngüsü

ISO 50001 EnYS standardı, işletmelerin enerji verimliliği ve enerji performansını arttırarak, standarda uygun şartları sağlayarak etkin bir yönetim sistemi kurulmasının sağlanması amacıyla dünyada birçok işletmede uygulanan, enerjinin bir standart çerçevesinde sistematik olarak yönetilmesi ile fazla enerji tüketiminin sebep olduğu çevresel zararlarla mücadele etmeyi ve fazla enerji tüketiminden kaynaklanan enerji maliyetlerinin düşürülmesini amaçlamaktadır. Enerji, günümüzde hem maddi olarak hem de kaynakların giderek tükenmesi sebebi ile daha fazla önem kazanmasından dolayı, enerjiyi daha verimli kullanmayı destekleyen TS EN ISO 50001 EnYS, her çeşit işletmede kolaylıkla uygulama yapılabilecek bir yönetim sistemidir. EnYS, idareler tarafından enerji politikalarının belirlenmesine, işletmenin koyduğu amaç ve enerji hedefleri doğrultusunda enerji tüketiminin daha sistematik bir şekilde yönetilerek etkin ve yüksek enerji performansı sağlayabilmek amacıyla enerji performansının sürekli kontrol altında tutulması temeline dayanmaktadır.

3. ENERJİ İZLEME VE KONTROL SİSTEMLERİ

Enerji izleme sistemleri, ticari bina enerji yöneticilerine, tesis yöneticilerine, finans yöneticilerine, endüstriyel işletmelere ve elektrik üretim tesislerine enerji hakkında detaylı bilgi sağlayan, veri toplama donanımı ve iletişim faaliyetlerini ifade etmektedir [4]. Enerji yönetiminin ve enerji izlemenin giderek önem kazanan bir kavram olması işletmedeki birçok ölçüm noktasından verilerin toplanıp kayıt altına alınması durumunda, verilerin okunduğu noktalarda bulunan ölçüm cihazları ile gerekli verilerin otomatik olarak okunması, enerji izleme sistemlerini cazip bir hale getirmektedir. Toplanan veriler değerlendirmeler için merkezi bir veri tabanında toplanmaktadır. İşletmenin enerji tüketimlerini analiz edebilmesi için, enerji tüketim ve mali raporlar, dokümantasyonlar ve alarm durumları, online izleme sistemleri ile kolayca takip edilebilmektedir. Ethernet (TCP/IP), işletmenin belirli noktalarından toplanan verilerin sistem ile haberleşmesinde kullanılmaktadır. Ethernet/Modbus giriş özelliğine sahip ölçüm cihazları yüksek verimlilikler sağlamaktadır. Endüstriyel işletmelerde tüketilen enerjinin kalitesi de işletmede bulunan ekipmanlar ve prosesler için büyük öneme sahiptir. Kalitesi düşük enerji kullanımı, işletmede bulunan ekipmanların verimsiz çalışmasına ve makinelerin işletme ömürlerinin kısılmasına sebep olacaktır. Bir işletmede enerji tüketimini ve kalitesini ölçmeden verimliliklerin tespiti ve iyileştirmelerin yapılması zorlaşmaktadır. Özellikle yoğun enerji tüketen ekipmanların izlenmesi, verilerin kaydedilmesi ve geçmiş zaman verileri ile karşılaştırılması bir işletme için büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple işletmede dijital ölçüm yapabilen analizörler haberleştirilerek ölçülebilen parametrelerin kontrolü bir yazılım ile takip edilmeli ve raporlanmalıdır. Raporlanan veriler değerlendirilerek gerekli aksiyonlar alınmalıdır. Böylece işletmeler enerji verimliliği programını etkin bir şekilde yönetebilirler. Şekil 3.1’de bir EnYS için temel veri toplama yapısı gösterilmiştir.

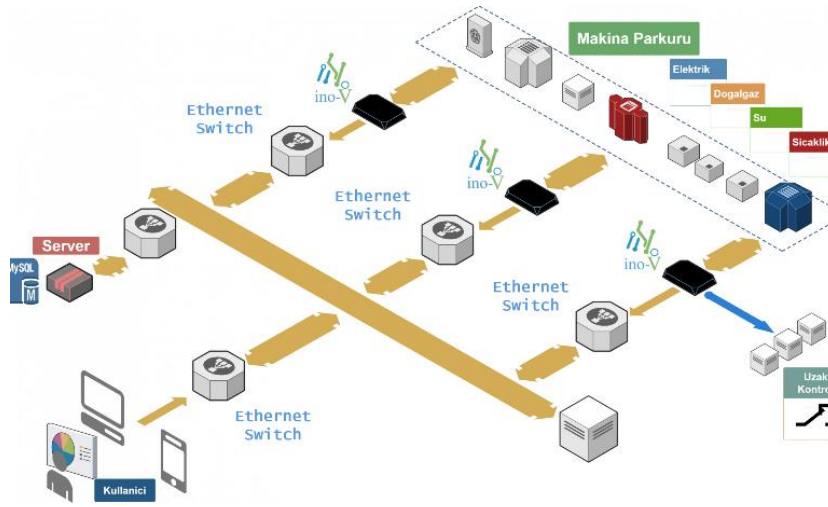


Şekil 3.1. Bir EnYS için temel veri toplama yapısı

Enerji izleme sistemlerinin birçok faydası olmasına rağmen temel özellikleri;

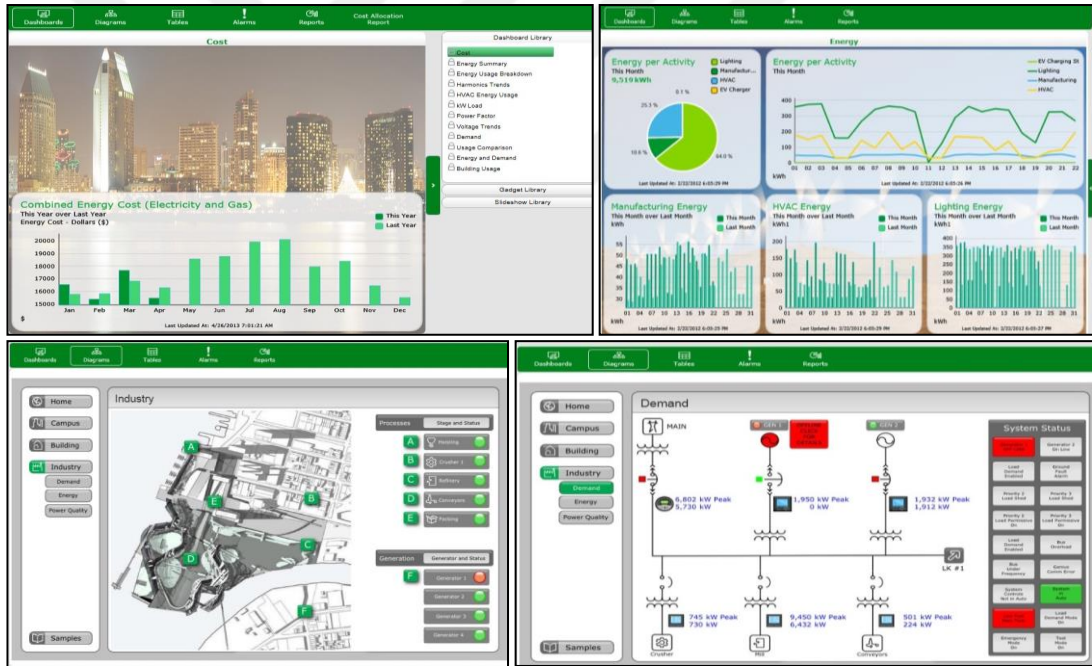
- Enerji verilerinin toplanması, izlenmesi ve analiz edilmesi,
- Uzaktan erişimi sağlayan web ara yüzü,
- Zaman serisi verilerinin görselleştirilmesi,
- Enerji tüketim eğrilerinin oluşturulması ve enerji tasarrufu fırsatlarının tespitinde bir araç olarak kullanılmasıdır [4].

Bir enerji izleme sisteminin şematize edilmiş hali Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Şematik enerji izleme sistemi

Bir enerji izleme sistemi, işletmede bulunan operatörlere, işletme sahiplerine ve üst yönetime enerji tüketimini yönetmede ve yeni proje kararlarında yardımcı olmaktadır. Enerji tüketim verilerinin gerçek zamanlı izlenmesine ve enerji performansı takibinin zor olduğu bir işletmede enerji performansının sürekli olarak takip edilmesini sağlamaktadır. Enerji izleme sistemlerinin çoğu gerçek zamanlı ölçümlerin takibini sağladığından, işletmedeki bir operatör bir arıza durumunda veya normal dışı bir tüketim durumunda en kısa zamanda müdahale edebilmektedir. Enerji izleme sistemi bulunmayan işletmeler enerji tüketim takibini aylık faturalar sağlamaktadırlar. Standart bir tüketimin söz konusu olmadığı zamanlarda fazla enerji tüketimine sebep olan faktörlerin kaynaklarını bulmak her zaman mümkün olmamaktadır [4]. Örnek bir enerji izleme sistemine ait görünüm Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Örnek bir enerji izleme sistemi görünümü [29]

3.1. Enerji Maliyetlerinin Azaltılması

Enerji izleme sistemleri faturalandırma ve elektrik sözleşmelerinin optimizasyonu ile enerji tüketiminin ve maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. İşletmelerde sızma sayaç kullanımı ve tüketimlerin bir yazılım ile izlenmesiyle bölüm bazlı enerji tüketimleri tespit edilebilmektedir. Bu sayede enerji tüketim maliyetlerini bölüm bazlı değerlendirme ve fazla tüketime sahip bölümlerde iyileştirme çalışmalarına olanak

sağlamaktadır. Enerji maliyetlerini azaltmak için yük eğrilerinin optimizasyonu ile tepe değerlerini yöneterek cezaların önüne geçilmesini sağlamaktadır. İşletmeler enerji izleme ve kontrol sistemleri ile otomatik yük paylaşımlarını kullanarak güç aşımalarını önleyebilmektedirler.

3.2. Enerji Kalitesinin Arttırılması

Bir işletme de kullanılan enerjinin kalitesi maliyetleri doğrudan etkileyen bir faktördür. Enerji izleme sistemleri enerji kalitesinin değerlendirilerek oluşan sorunların kaynağına ulaşmayı ve yapılan iyileştirmelerin etkinliğinin kontrol edilmesini sağlar. Harmonik bozulmaların sebebinin tespit edilerek, harmoniklerin hassas yüklerden ayrılmasını sağlamaktadır. Ani gerilim düşüşlerinin ve artışlarının tespit edilerek, üretim kayıplarına sebep olan duruşları ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Ayrıca dağıtım yapılan gücün kalitesinin değerlendirilerek, elektrik dağıtım şirketlerinin EN 50160 Elektrik kaynağı uyumluluğu standardına uyup uymadıklarının tespitinin yapılması kolaylaşır.

3.3. Servis Sürekliliğinin Geliştirilmesi

Enerji izleme sistemleri ile elektrik tesisatları gerçek zamanlı olarak izlenerek ölçüm verilerinin kontrol altında tutulması sağlanabilmektedir. Uzaktan erişim ile ölçülen verilerin doğru zamanda doğru kişiye iletilmesine yardımcı olmaktadır. Endüstriyel işletme yöneticileri için tüketim analizleri, bakım bölümleri için alarm durumları, muhasebe bölümleri için ise maliyetlerin analiz edilmesini sağlamaktadır.

4. ENERJİ İZLEME SİSTEMLERİNİN ENYS'YE KATKILARI

1970 yılların başından itibaren endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği çalışmaları işletmenin ana unsurlarından bir olarak kabul görmeye başlamıştır. Özellikle yüksek enerji tüketimine sahip işletmeler enerjiyi verimli kullanma yolunda gerçekleştirilecek faaliyetlerin üzerinde önemle durmuşlardır. Endüstriyel işletmelerde, yönetim sistemlerinin düzenli bir şekilde uygulanması ile teknolojik gelişmelere uyum ve enerji politikaları ile ve yasal şartlara uyum ile mümkün olabilmektedir.

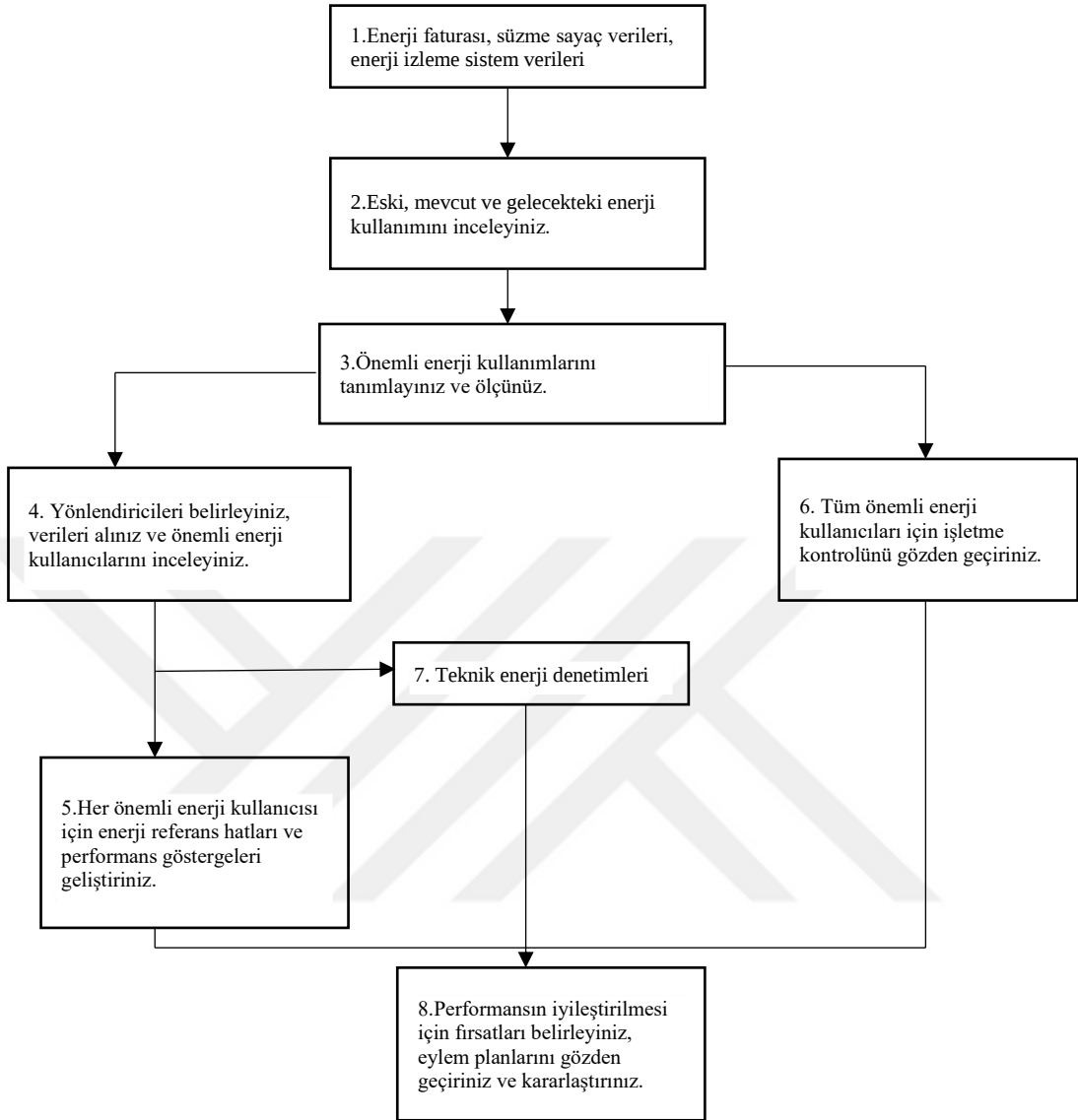
Enerji yönetimi maliyetleri en aza indirerek, rekabeti geliştirmek için enerjinin etkin kullanılmasıdır. Bunun için birim ürün başına tüketilen enerjinin azaltılması gereklidir. Enerjiyi etkin bir şekilde yönetebilmek amacıyla etüt, ölçüm, planlama ve uygulama faaliyetlerinin en etkili şekilde takip edilmesi gereklidir.

Üretkenlik ve rekabet edebilirlikte artış sağlayan enerji yönetim sistemi aynı zamanda enerji izleme planları ve enerji analiz faaliyetlerinin düzenlenerek aktif bir şekilde yürütülmesinde etkin bir rol almaktadır. Yatırım gerektiren projelerde ön fizibilite çalışmalarının yapılarak değerlendirme aşamalarına katkı sağlamaktadır.

Bir enerji yönetim sisteminde, enerji performansı iyileştirmesi gösteren kilit özellikleri izlenmeli ve ölçümü sağlanmalıdır. Bu kilit özellikler;

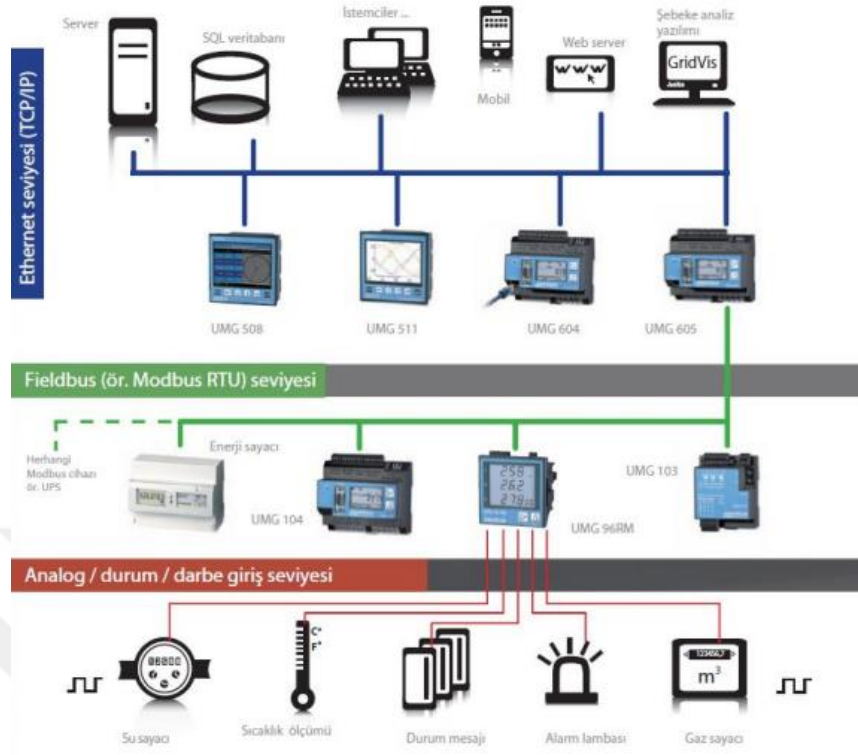
- Eylem planları ve enerji planlamasının çıktıları,
- Önemli enerji kullanıcıları ile ilgili faktörler arasındaki ilişki,
- Enerji performans göstergeleri,
- Eylem planlarının amaç ve hedeflere ulaşmadaki etkinliği,
- İşletme kontrolünün izlenmesidir [26].

Bir enerji planlama süreci Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Enerji planlama süreci [26]

Planlama aşaması bir enerji yönetim sisteminin kilit noktalarından biridir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere etkin bir enerji yönetimi için enerji planlamada ne kadar enerjinin nerede ve ne amaçla kullanıldığının bilinmesi önemlidir. Enerji planlamada ilk aşama enerji tüketim verilerinin toplanarak analiz edilmesidir. Bu aşamada enerji izleme sistemleri üzerinden sistematik bir veri toplama methodologyyla anlık tüketimlere ulaşılabilir. Enerji yönetiminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için ölçmek ve kontrol etmek en önemli unsurdur. Çünkü ölçemediğimizi yönetemeyiz. Analog verilerin dijital verilere dönüştürülmesini gösteren şema Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Analog verilerin dijital verilere dönüştürülmesi

Hindistan’da bulunan bir tekstil fabrikası olan Raymond Limited Vapi, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi uygulamasıyla bir yıl boyunca enerji performansında %14,70 iyileşme sağlanmıştır. 52.363,00 GJ enerji tasarrufu ve 4.136,97 ton CO₂ emisyonu azalımı sağlanmıştır. Fabrikanın mali tasarrufu yaklaşık 671.142,40 USD olmuştur. Ayrıca enerji yönetimi kapsamında yapılan, iyileştirme projelerinden biri olan Hava Yıkama Kulelerinde izleme ve kontrol sistemi kurulumu ile yıllık 59.222,24 USD mali tasarruf sağlamıştır [30].

4.1. Enerji Yönetim Sisteminde Enerji Performans Göstergeleri

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı’nı da belirtildiği gibi, enerji verimliliğini arttırmak ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla sürekli iyileştirmeler yapılması gereklidir. Enerji yönetimi, gelişimi değerlendirebilmek ve iyileştirme projelerini eyleme dökülebilmek için güvenilir rakamlara ihtiyaç duyar. Bu rakamlardan biri de enerji performansı göstergesidir (EnPG).

Enerji performansının bu ölçüsü işletme tarafından belirlenir. Bir oran veya karmaşık bir model olarak ifade edilebilir.

İşletmeler enerji performanslarını izlemek ve ölçmek için uygun enerji performansı göstergelerini belirlemelidir. Sürekli iyileşmenin sağlanabilmesi için enerji performans göstergelerinin (EnPG) izlenmesi kritik bir etmendir. Çünkü enerji performans göstergeleri, enerji performansında sağlanacak iyileşmenin bir göstergesidir. Örneğin, bir hava kompresörünün enerji performansını belirleyebilmek için birim hava debisi için tükettiği enerji miktarını (kWh/Nm³, kWh/m³) bilmek gerekmektedir. ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı'nın bir gerekliliği olan enerji performans göstergelerinin belirlenmesi, aynı zamanda yatırım değerlendirmeleri için de büyük öneme sahiptir. Endüstriyel işletmelerde, ilgili enerji performans göstergelerinin belirlenerek, enerji performansındaki iyileşme miktarının tespit edilebilmesi için öncelikle uygun ölçüm noktalarının belirlenmesi gereklidir.

TS EN ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi Standardı'nın 6.4 Enerji Performans Göstergeleri maddesinde belirtildiği gibi enerji performansını ölçmek ve izlemek için uygun performans göstergelerinin seçilmesi gerekmektedir. Bir enerji izleme sistemi ile tanımlanan enerji performans göstergelerine uygun olarak, yazılıma aktarılan verilerin, enerji performansındaki iyileşmenin takip edilebilmesi ve sürekli kontrolünün sağlanması açısından önemlidir.

Enerji performans göstergesi hesaplama yöntemi;

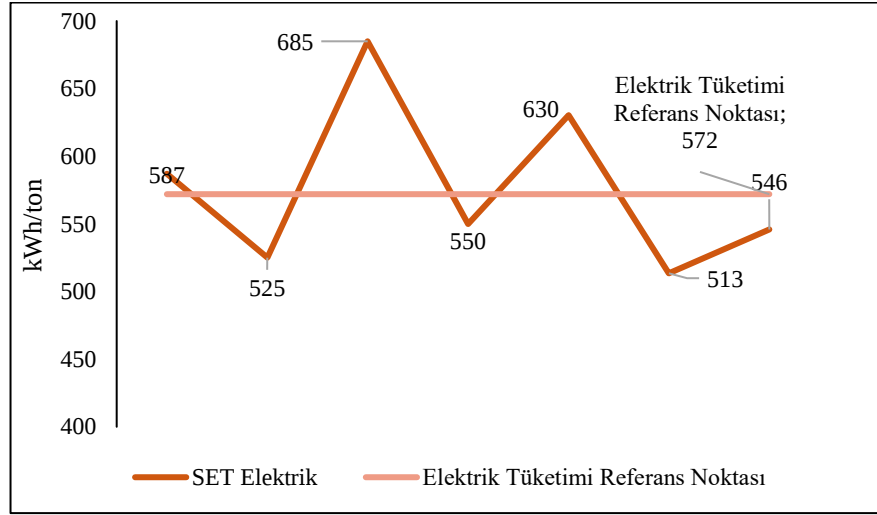
$$\text{Enerji Performans Göstergesi} = \frac{\text{Ürün için tüketilen enerji miktarı}}{\text{Ürün miktarı}} \quad (4.1)$$

4.2. Enerji Referans Çizgisi

İşletme başlangıç enerji gözden geçirmesindeki bilgileri kullanarak enerji tüketimi ve üretimine uygun bir referans noktası/noktaları oluşturmalıdır. Enerji performansında olacak iyileşmeler bu referans noktasına göre değerlendirilmelidir. Enerji izleme sistemleri ile anlık olarak izlenebilen tüketimler ekipman veya proseslerin belirlenen referans değerinin üzerinde olduğu zamanlarda alarm durumları oluşacaktır. Enerji

izleme sistemleri ani tüketim fazlalıklarına anında müdahale ve alarm durumunun kaynağının bulunmasına imkân sunmaktadır.

Şekil 4.3, bir karton kutu üretim fabrikasında referans elektrik tüketimi değerine karşılık mevcut elektrik tüketimini göstermektedir.



Şekil 4.3. Referans noktasına göre elektrik tüketimlerinin takibi

TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardına göre belirlenen referans noktasından sapan değerlerde bu sapmanın sebebinin araştırılması istenmektedir. Enerji tüketimlerinin anlık olarak izlendiği bir sistem sayesinde bu sapmanın sebebi kolayca bulunabilir.

4.3. Önemli Enerji Kullanıcıları

Bir işletme önemli miktarda enerji tüketen veya enerji performansının iyileştirilmesiyle önemli tasarruf miktarı sağlanabilecek ekipmanların enerji tüketimlerini daha dikkatli incelemelidir. Önemli enerji kullanıcılarının tanımlanabilmesi için her bir süreç ya da sistemin enerji tüketimlerinin bilinmesi gereklidir. Enerji izleme sisteminden alınan veriler sayesinde önemli enerji kullanıcılarının belirlenmesi kolaylıkla yapılabilmektedir. İşletmede büyük ölçekli makinelerin enerji tüketimlerinin takip edilmesi, o makine üzerinde yapılacak bir iyileşme, enerji performansındaki iyileşmenin etkisini arttıracaktır. Ayrıca donanımların enerji sistemlerine göre gruplandırılması (örn: ısıtma, basınçlı hava,

buhar sistemleri gibi) enerji tasarrufunun en uygun olmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda bir izleme sistemi sayesinde oluşturulan enerji akışlarının gösterildiği süreç haritaları sistemler içerisinde donanımların düzenlenebilmesine yardımcı olmaktadır [26].

4.4. Enerji Hedef ve Eylem Planları

Eylem planları enerji tasarrufu faaliyetlerinin temelini oluşturan planlama işlemidir. Eylem planında yapılması düşünülen iyileştirme fırsatlarının beklendiği yönüyle ele alınması, tamamlanması ve doğrulanmasının sağlanması Enerji Yönetim Sisteminin önemli bir parçası olmaktadır. Belirlenen hedefler SMART (Spesifik, ölçülebilir, gerçekleştirilebilir, ilgili ve zamanlı) olmalıdır. Bu da bize göstermektedir ki eylem planlarında iyileşmenin doğrulanması en önemli unsurlardandır biridir. Bu sebeple bir endüstriyel işletmede iyileşmenin yapılacağı proses, ekipman veya donanım sürekli olarak izlenerek performansının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, enerji izleme sistemleri ön plana çıkmaktadır. İzleme ve ölçüm ile beklenen ve gerçekleşen enerji kullanımının düzenli olarak karşılaştırılmasıyla enerji performansı yönetilebilmektedir.

4.5. İnceleme

İnceleme, izleme sonucunda toplanan verilerin önlem alınmasında kullanılabilecek faydaları bilgilere dönüştürür. Enerji izleme sistemi ile toplanan verilerin analizi önemlidir. Örneğin; CUSUM grafiği oluşturulan bir eğilim çizgisi ile tasarrufları/kayıpları hesaplayarak performansta gerçekleşen bir durum söz konusu olduğunda değerlendirebilme olanağı sunar. Oluşturulan doğrular beklenen enerji tüketimini öngörmek ve düzenli izleme ve kontrol ile performansı iyileştirecek önlemlerin alınmasına yardımcı olmaktadır [26].

4.6. İşletimin Kontrolü

Bir işletmede donanımların ve sistemlerin nasıl işletildiği enerji performansında çok büyük bir öneme sahiptir. Kazanların, soğutma sistemlerinin, kompresör ve pompa sistemlerinin tüketimleri gerekenden fazla enerji tüketimine sahip olacak şekilde

iřletilmesi rastlanabilir řeylerdendir.

Bu sebeple, özellikle önemli enerji kullanıcıları için kritik işletme parametreleri belirlenerek, belirlenen değerlerin dışına çıkıldığında bir enerji izleme yazılımı ile alarm durumlarının oluşturulması işletme için fayda sağlayacaktır. Enerji yönetim sistemi kapsamında bakım faaliyetleri de büyük öneme sahiptir. Etkisiz bakımlar, sistem ve ekipman ömrünün azalmasına sebep olabilmektedir. Olması gereken enerji tüketimlerinden daha fazla tüketime sahip bir ekipmanda gerekli ise bakım faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Enerji izleme sistemleri ile bakım zamanları takip edilerek optimal işletmenin sağlanması mümkündür.

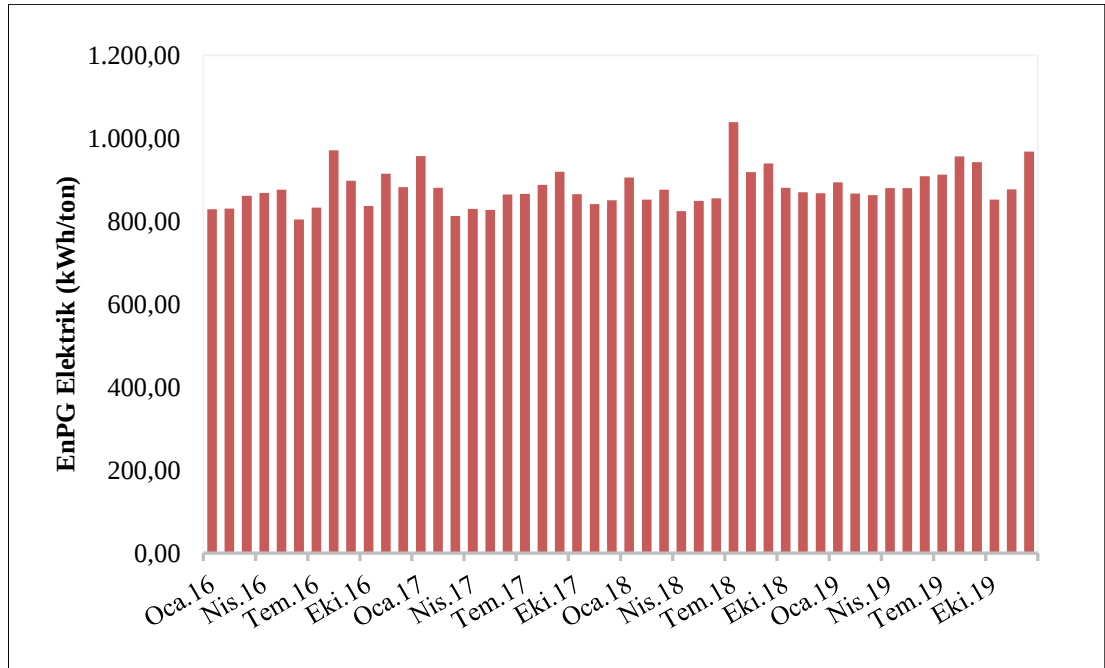
5. ENERJİ YOĞUN BİR İŞLETMENİN ENERJİ ANALİZİ

Bu tez kapsamında ele alınan enerji izleme ve yönetim sisteminin etkinliğini ortaya koymak için enerji yoğun bir endüstriyel tesise ait enerji verileri ve analizi bu bölümde ele alınmıştır. İşletmenin 4 yıllık enerji tüketim ve üretim verileri ışığında analizler gerçekleştirilmiştir.

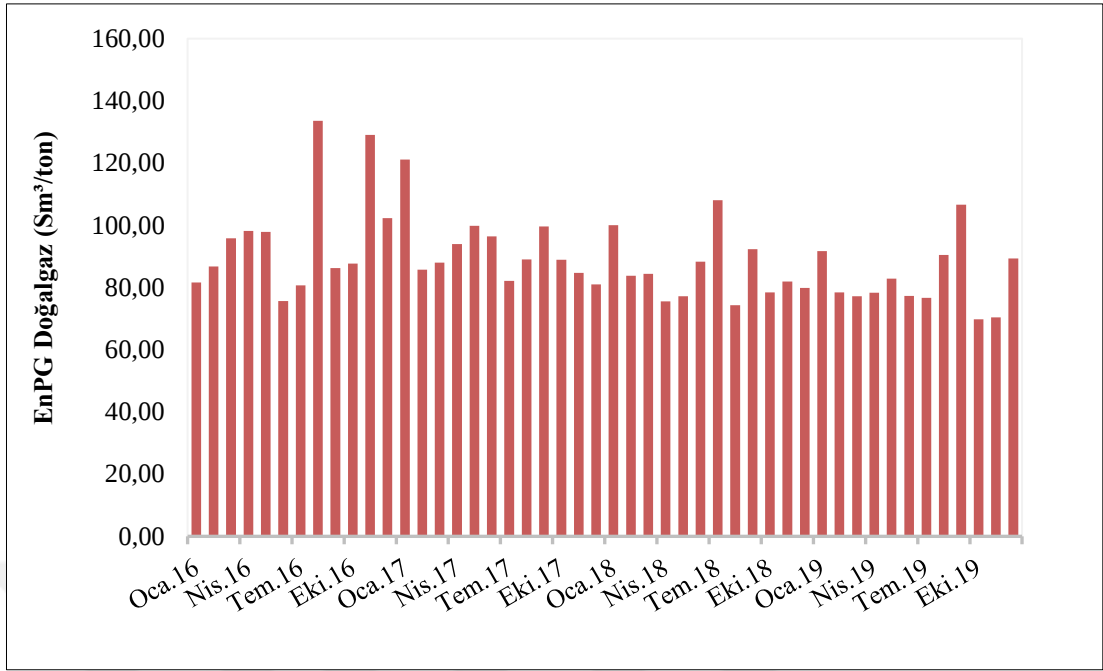
5.1. Tesis Enerji Tüketim ve Üretim Verileri

5.1.1. Enerji performans değerleri

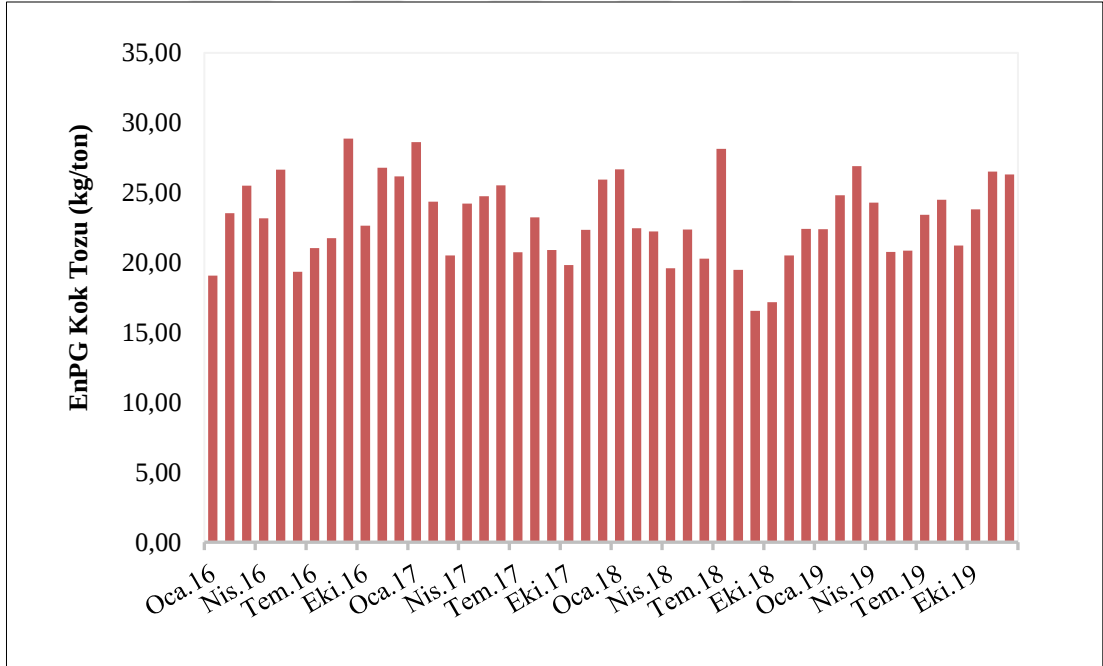
Tez kapsamında incelenen bir çelik üretim tesisinin Çelikhane ve Haddehane bölümleri elektrik, doğalgaz ve kok tozu 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları için EnPG değerleri Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.1. 2016-2017-2018-2019 Çelikhane elektrik EnPG değerleri

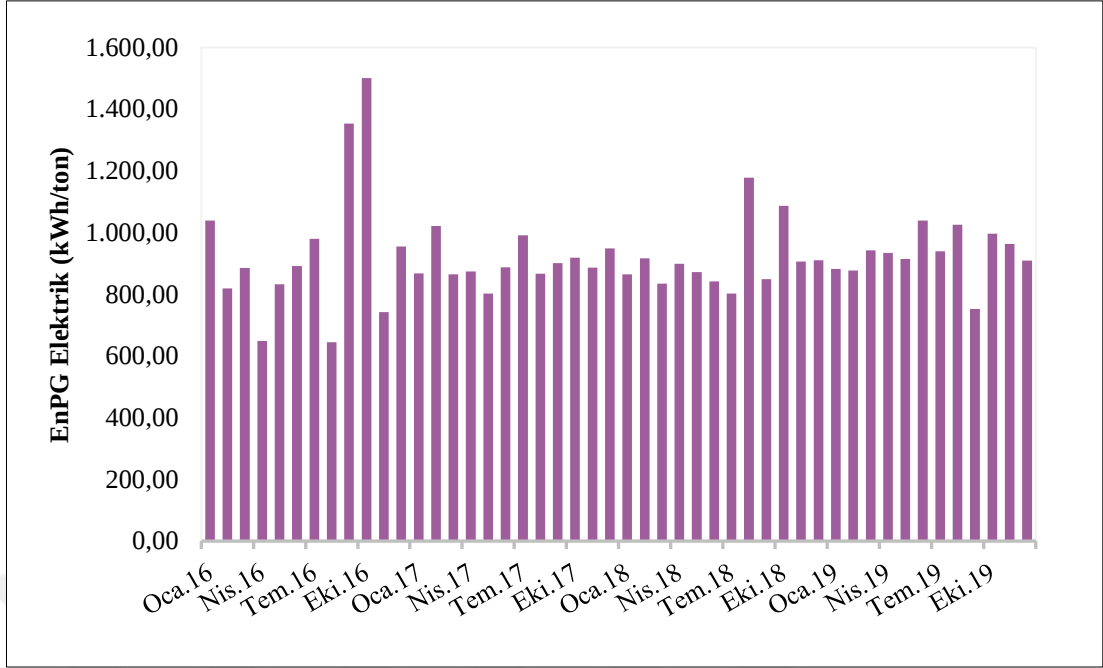


Şekil 5.2. 2016-2017-2018-2019 Çelikhane doğalgaz EnPG değerleri

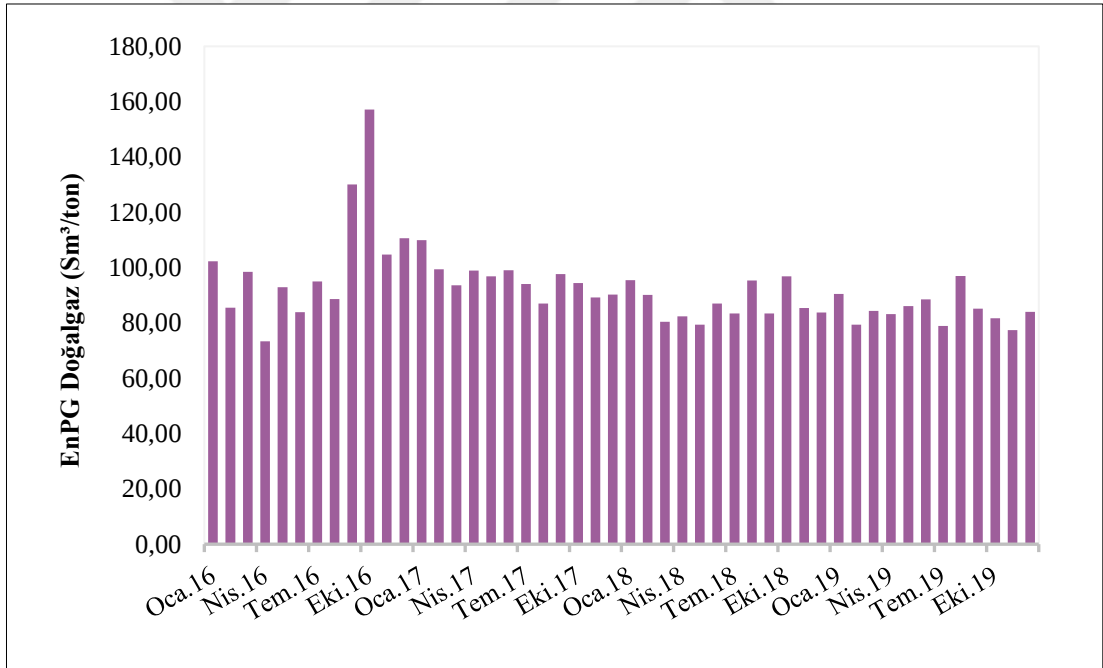


Şekil 5.3. 2016-2017-2018-2019 Çelikhane kok gazı EnPG değerleri

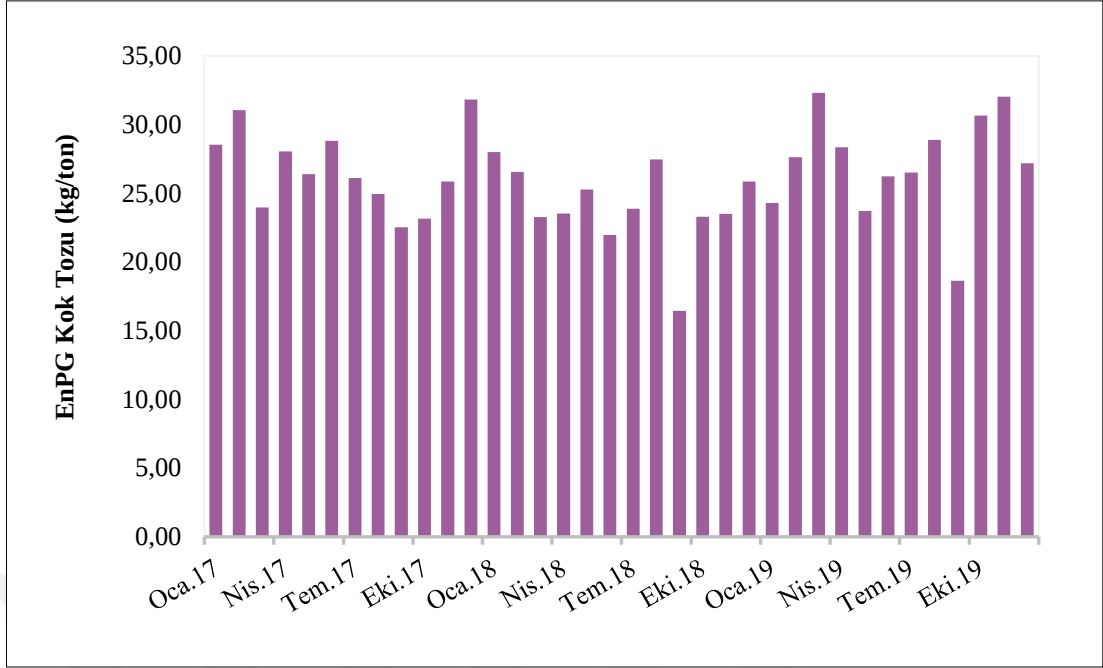
2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları haddehane elektrik, doğalgaz ve kok tozu EnPG değerleri Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.4. 2016-2017-2018-2019 Haddehane elektrik EnPG değerleri



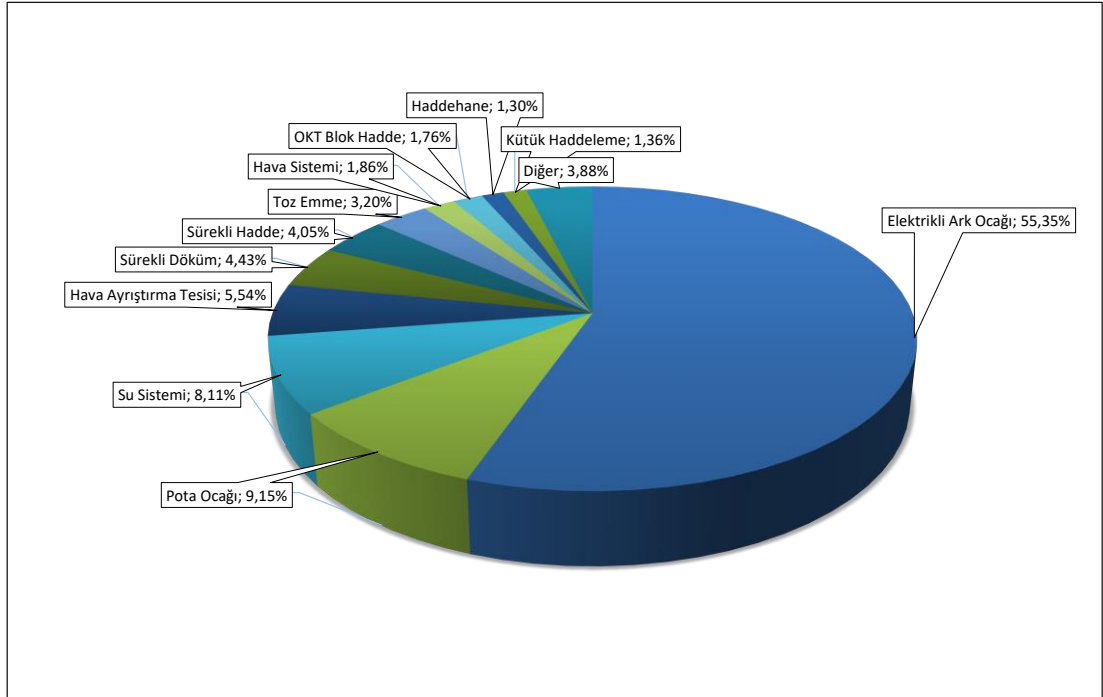
Şekil 5.5. 2016-2017-2018-2019 Haddehane doğalgaz EnPG değerleri



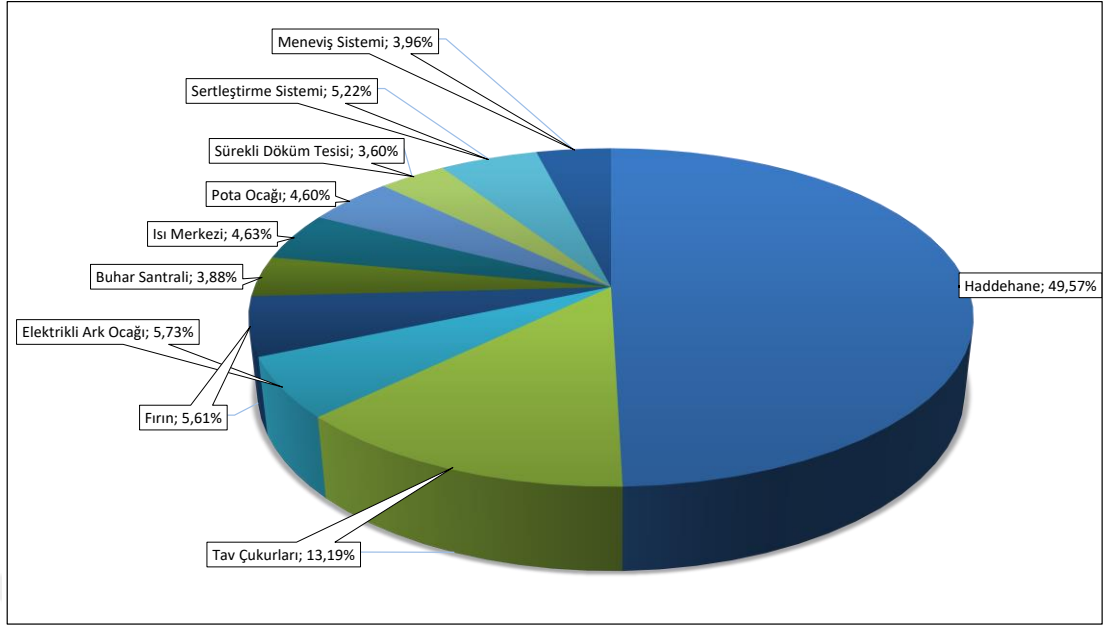
Şekil 5.6. 2016-2017-2018-2019 Haddehane kok tozu EnPG değerleri

5.1.2. Tesis önemli enerji kullanıcıları

Tez kapsamında incelenen bir çelik üretim tesisinin elektriği yoğun kullanan tesisleri Şekil 5.7’de doğalgazı yoğun kullanan tesisleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Elektrik önemli enerji kullanıcıları



Şekil 5.8. Doğalgaz önemli enerji kullanıcıları

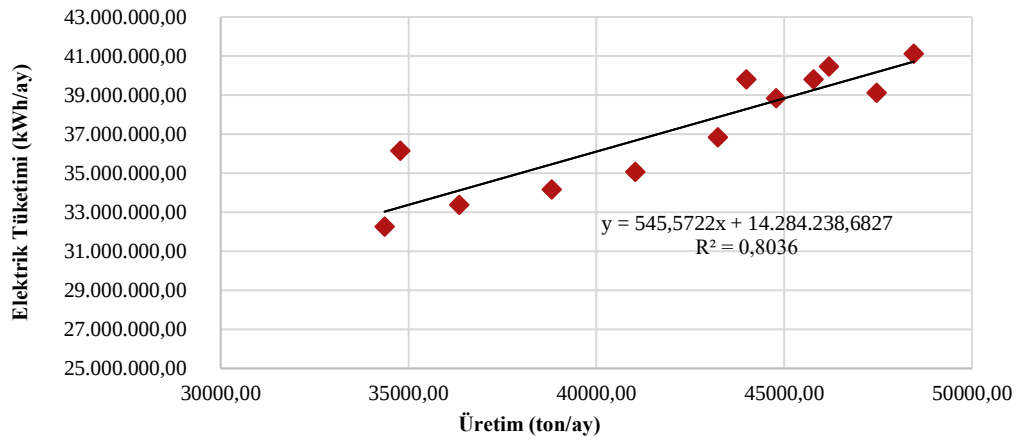
5.2. Regresyon Analizi ile Tüketim Tahminleri

Enerji tüketimlerinin üretim miktarlarına ve dış hava sıcaklıklarına göre regresyon analizleri yapılmıştır. İki ya da ikiden daha fazla değişken bulunan durumlarda değişkenler arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla kullanılan analiz yöntemine regresyon analizi adı verilmektedir. Tezin bu bölümünde, işletmenin üretim miktarları, dış hava sıcaklıkları ve bölüm bazlı enerji tüketimleri incelenerek, bu değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bir işletmedeki enerji tüketimlerinin değerlendirilmesi için spesifik enerji tüketimi önemli bir parametredir. Birçok endüstriyel işletme, geçmiş yıllardaki spesifik enerji tüketimlerini göz önünde bulundurarak gelecek yılların enerji tüketim projeksiyonunu hazırlamaktadır. Şekil 5.1 ile Şekil 5.6 arasındaki grafiklerden de görüleceği üzere, spesifik enerji tüketimleri değişkenlik göstermektedir. Yani sağlıklı bir analiz yapmak için yeteri kadar doğrusal değildir. Üstelik bu değerlerde hem mevsimsel etkilerden kaynaklı yaşanan tüketimler hem de tesisin baz enerji tüketimleri görülememektedir.

Enerji yönetimindeki temel amaçlardan biri de bu baz enerji tüketimlerini düşürmek olduğu için bu değerler referans alınarak önümüzdeki yıllarda planlanan üretimlere karşılık gelen tüketimler değerlendirildiğinde hatalı sonuçlar elde edilebilir. Bu yüzden üretim-tüketim ilişkisi net bir şekilde ortaya koyulmalı, gerekliyse mevsimsel

veya diğer dış etkiler hesaplara dâhil edilmeli ve gelecek yılların projeksiyonları buna göre çıkartılmalıdır.

Bu ilişkiyi ortaya koymak amacıyla, üretim miktarları ile tüketim verilerinin regresyon analizleri yapılmalıdır. 2018 yılı baz yıl olarak kabul edilerek yapılan regresyon analizlerinde, işletmenin 2019 yılında yaşanan üretim miktarları ve üretim miktarlarına karşılık enerji tüketimi performansı değerlendirilmiştir. Böylece belirlenen periyotlarda enerji tahmin denklemleri oluşturularak, gelecek dönemlere ait tüketim projeksiyonları ele alınabilmektedir. Çelikhane için oluşturulan elektrik tüketimi trend grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. 2018 Çelikhane elektrik tüketimi trend grafiği

Yukarıdaki grafikteki lineer (1. dereceden) formülden de görülebileceği üzere, işletmenin üretim miktarı ile elektrik tüketimleri arasında %80,36'lık (R^2) bir korelasyon (bağıntı, bağlılık, ilişki) bulunmaktadır. Burada önemli olan değişkenler arasındaki ilişkiyi doğru bir formülasyonla ortaya çıkarmaktır. Bu ilişki bir kez ortaya çıkarıldığında gelecek projeksiyonu çok daha gerçekçi yapılabilecektir. Regresyon analizlerinde, değişkenlerin birbirleri üzerinde etkili olup olmadığını söyleyebilmek için o değişkeni en az %70-80 oranında etkilemesi gerekmektedir. Şekil 5.9'daki grafik üzerinde görülen formül, elektrik tüketimlerinin bu formül ile büyük oranda açıklanabildiğini göstermektedir. Yukarıdaki grafikten de görüldüğü üzere 2018 yılı elektrik tüketimleri üzerinde üretim miktarının büyük oranda etkili olduğu söylenebilir.

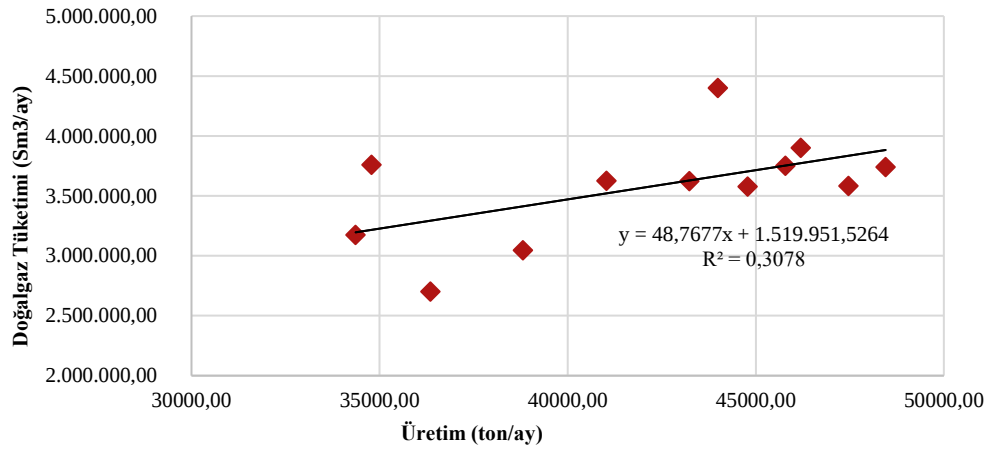
Bu bilgiler göz önüne alındığında, yukarıda verilen grafiğe göre elektrik tüketimleri

ile üretim miktarlarının ilişkisini açıklamak için kullanılacak hesaplama yöntemi;

$$\text{Elektrik Tüketimi(kWh)}=545,5722 \times \text{üretim (ton)}+14.284.238,6827 \quad (5.1)$$

5.1'deki eşitlik kullanılarak işletmenin enerji tüketim projeksiyonlarında planlanan üretim miktarına karşın tüketilen elektrik enerjisi miktarı hesaplanabilmektedir. Denklem 5.1'deki eşitliğe göre, üretimin hiç olmadığı dönemde yaklaşık 14.284.238,6827 kWh'lik bir elektrik tüketimi söz konusudur. Bu tüketim, tesisin baz elektrik yükü olarak adlandırılmaktadır.

2018 Çelikhane doğalgaz tüketimi trend grafiği Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. 2018 Çelikhane doğalgaz tüketimi trend grafiği

2018 yılı üretim miktarı ile doğalgaz tüketimleri arasında %30,78'lik (R^2) korelasyon bulunmaktadır. Yukarıda verilen doğalgaz tüketimi – üretim ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranının istenilen değerlerde (%70 ve üzeri) olmadığı görülmektedir. %30,78'lik korelasyon değeri istenilen oranda olmadığı için açıklama yapılamamıştır. Bu sebeple, işletmenin doğalgaz tüketimleri ve üretim miktarlarının yanında dış hava sıcaklıklarıyla olan ilişkilerini de dahil etmek gerekmektedir. Şekil 5.10'daki grafik üzerinde görülen denklemde, korelasyon oranlarında artış yaşanıp yaşanmayacağı ve doğalgaz tüketimlerinin dış hava koşullarıyla ilişkisini görebilmek amacıyla işletmenin doğalgaz tüketimleri aynı zamanda hem üretim miktarları hem de dış hava sıcaklıklarıyla ilişkilendirilmiştir.

Dış hava sıcaklıkları verisi olarak ısıtma gerektiren günler için ısıtma derece gün sayısı değerleri (HDD), soğutma gerektiren günler için de soğutma derece gün sayısı (CDD) değerleri kullanılmıştır. 24 saatin sıcak ve soğuk geçen zamanlarını ölçmeye yarayan birime derece gün sayısı denmektedir. Isıtma gün dereceleri, herhangi bir zaman diliminde dış ortam sıcaklığını ve oda sıcaklığını dahil ederek soğukun şiddetini açıklamaktadır.

Ülkelerde karşılaştırmanın kolay yapılabilmesi ve ortak bir kullanım oluşturabilmek amacıyla HDD için genel olarak kullanılan hesaplama yöntemi;

$$HDD=(18^{\circ}\text{C}-T_m)\times \text{değer } T_m\leq 15^{\circ}\text{C} \text{ (ısıtma eşiği)} \quad (5.2)$$

$$HDD=0 \text{ eğer } T_m > 15^{\circ}\text{C} \quad (5.3)$$

Denklem 5.3'te, T_m değeri günlük ortalama sıcaklık değerini belirtmektedir. Günlük olarak yapılan hesaplamanın yanında, aylık ve yıllık değerler günlük değerlerin toplanması ile elde edilir. Bir örnek ile açıklamak gerekirse; Ankara'nın 28 Aralık 2006 günü ortalama sıcaklığı 3.0°C ' dir.

Buna göre;

$$HDD=18-3=15 \quad (5.4)$$

Herhangi bir zaman diliminde dış ortam sıcaklığını dahil ederek soğukun şiddetini açıklayan terim ise soğutma gün dereceleridir. Belirlenmiş olan bir sıcaklık değeri olmamakla birlikte, inşaat sektöründe genellikle eşik sıcaklık değeri 22°C olarak kabul edilir.

Buna göre;

$$CDD=(T_m-22^{\circ}\text{C})\times \text{değer } T_m\geq 22^{\circ}\text{C} \text{ (soğutma eşiği)} \quad (5.5)$$

$$CDD=0 \text{ eğer } T_m < 22^{\circ}\text{C} \quad (5.6)$$

Bir örnek ile açıklamak gerekirse;Ankara'nın 24 Ağustos 2006 günü ortalama sıcaklığı 23.9°C ' dir.

Buna göre;

$$CDD=23,9-22=1,9 \quad (5.7)$$

Isıtma veya soğutma gün derecelerinin toplamının bilinmesi binaların ısıtılması yada soğutulması için ihtiyaç olan enerji miktarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Eğer, dış hava sıcaklığı 15°C'nin üzerinde ise ısıtmaya gerek olmadığı anlamı çıkar. Bir işletme yada bir konutta, ısıtma maliyeti yıllık HDD ile ilişkilidir. Bir işletmedeki bir yıllık enerji maliyetinin yıllık HDD değerine bölünmesi ile bir HDD değeri için ısıtma fiyatı belirlenebilir. Bundan sonraki hesaplamalarda elde edilen bu indis kullanılabilir. HDD değeri, aynı zamanda kış aylarının sertliğini belirlemede ve bunu gelecek ve geçmiş yıllar ile karşılaştırmada kullanılır. HDD değerini hesaplamanın bir başka avantajı ise, yeni binalar yapılırken binaların yalıtım, ısıtma ve soğutma maliyetleri kolayca hesaplanabilmektedir[31]. Doğalgaz tüketimlerinin HDD, CDD ile üretimin eşzamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Doğalgaz-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,644359649
R Kare	0,415199357
Ayarlı R Kare	0,285243659
Standart Hata	368096,8695
Gözlem	12

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	8,658E+11	4,329E+11	3,19492998	0,08944072
Fark	9	1,2195E+12	1,355E+11		
Toplam	11	2,0853E+12			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 095%	Yüksek 095%
Kesişim	1982103,656	1015139,74	1,95254267	0,08262858	-314301,972	4278509,285	-314301,972	4278509,285
Üretim	34,69585973	24,9371547	1,39133194	0,19755433	-21,71590331	91,10762278	-21,71590331	91,10762278
HDD	1138,186907	885,365259	1,28555632	0,23068951	-864,6484564	3141,02227	-864,6484564	3141,02227

Tablo 5.2. Doğalgaz-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

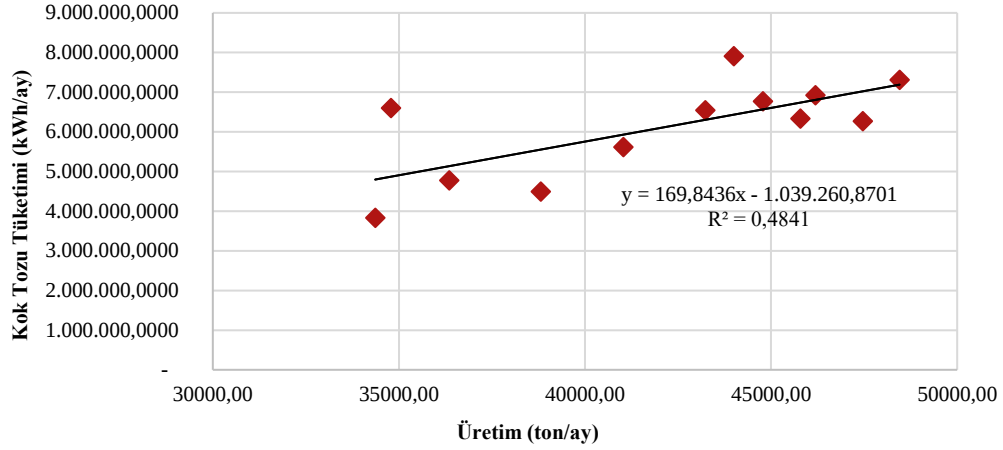
ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,556284335
R Kare	0,309452261
Ayarlı R Kare	0,155997208
Standart Hata	399995,4555
Gözlem	12

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	6,45286E+11	3,2264E+11	2,01656612	0,18896078
Fark	9	1,43997E+12	1,6E+11		
Toplam	11	2,08525E+12			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 095%	Yüksek 095%
Kesişim	1679583,06	1502415,035	1,11792216	0,29255162	-1719115,87	5078281,99	-1719115,87	5078281,992
Üretim	45,31634278	33,91908859	1,33601298	0,21434126	-31,4139664	122,046652	-31,4139664	122,046652
CDD	-492,2883626	3368,389078	-0,14614949	0,88702452	-8112,11384	7127,53712	-8112,11384	7127,537118

2018 yılı üretim ve doğalgaz tüketim değerleri baz alınarak yapılan regresyon analizinde doğalgaz ve üretim-CDD ilişkisi istenilen oranda açıklanamamıştır. Doğalgaz tüketimleri dış hava sıcaklıkları ile de karşılaştırılmıştır. Dış hava sıcaklıkları verisi olarak ısıtma gerektiren günler için ısıtma derece gün sayısı değerleri, soğutma gerektiren günler için de soğutma derece gün sayısı değerleri kullanılmıştır. Doğalgaz tüketimleri ile üretim (ton) + dış hava sıcaklığı (HDD ve CDD) ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranında (Ayarlı R^2 değeri referans alınır) istenilen oranda bir artış yaşanmadığı görülmektedir. Bu sebeple bu veriler kullanılarak doğalgaz tüketimleri için formül yazmak mümkün olmayacaktır. Ayrıca CDD katsayısının da negatif olduğu görülmektedir. Bu değerler doğalgaz tüketimi ve üretim-ısıtma-soğutma derece gün sayılarının arasındaki ilişkiyi açıklamaya yeterli düzeyde değildir. 2018 yılı kok tozu tüketimi ile üretim miktarı arasındaki korelasyon ilişkisi trend grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir. Öncelikle üretim-tüketim ilişkisine bakılarak korelasyon oranında yeterli bir oran elde edilemez ise soğutma gün derece sayısı ve ısıtma gün derece sayıları ile birlikte üretim-tüketim ilişkisine bakılacaktır.



Şekil 5.11. 2018 Çelikhane kok tozu tüketimi trend grafiği

2018 yılı üretim miktarı ile kok tozu tüketimleri arasında %48,41'lik (R^2) korelasyon bulunmaktadır. Yukarıda verilen kok tozu tüketimi – üretim ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranının istenilen değerlerde (%70 ve üzeri) olmadığı görülmektedir. %48,41'lik korelasyon değeri istenilen oranda olmadığı için açıklama yapılamamıştır. Bu sebeple, işletmenin kok tozu tüketimleri ve üretim miktarlarının yanında dış hava sıcaklıklarıyla olan ilişkilerini de dahil etmek gerekmektedir. Şekil 5.11'deki grafik üzerinde görülen denklemde, korelasyon oranlarında artış yaşanıp yaşanmayacağı ve kok tozu tüketimlerinin dış hava koşullarıyla ilişkisini görebilmek amacıyla işletmenin kok tozu tüketimleri aynı zamanda hem üretim miktarları hem de dış hava sıcaklıklarıyla ilişkilendirilmiştir. Kok tozu-HDD ve Kok tozu-CDD'nin üretim ile eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Kok tozu-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri					
Çoklu R	0,758497503				
R Kare	0,575318462				
Ayarlı R Kare	0,480944787				
Standart Hata	871145,6998				
Gözlem	12				

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	9,2527E+12	4,6264E+12	6,09617524	0,021197528
Fark	9	6,8301E+12	7,5889E+11		
Toplam	11	1,6083E+13			

Tablo 5.3. (Devam) Kok tozu-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 095%	Yüksek 095%
Kesişim	143766,6202	2402450,8	0,05984165	0,95358948	-5290954,655	5578487,895	-5290954,655	5578487,895
Üretim	133,82217	59,0167884	2,26752715	0,04956303	0,316919445	267,3274205	0,316919445	267,3274205
HDD	2913,556625	2095,32382	1,39050423	0,19779697	-1826,395161	7653,508411	-1826,395161	7653,508411

Tablo 5.4.Kok tozu-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,749602014
R Kare	0,561903179
Ayarlı R Kare	0,46454833
Standart Hata	884798,0508
Gözlem	12

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	2	9,03696E+12	4,5185E+12	5,77170202	0,02438178
Fark	9	7,04581E+12	7,8287E+11		
Toplam	11	1,60828E+13			

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 095%	Yüksek 095%
Kesişim	-4094138,737	3323372,494	-1,23192292	0,2491929	-11612129,6	3423852,15	-11612129,6	3423852,154
Üretim	235,892224	75,02971112	3,14398417	0,01185176	66,1632255	405,621222	66,1632255	405,6212224
CDD	9420,950804	7450,94488	1,26439679	0,23784872	-7434,25752	26276,1591	-7434,25752	26276,15913

2018 yılı üretim ve kok tozu tüketim değerleri baz alınarak yapılan regresyon analizinde kok tozu istenilen oranda açıklanamamıştır. Kok tozu tüketimleri dış hava sıcaklıkları ile de karşılaştırılmıştır. Dış hava sıcaklıkları verisi ısıtma gerektiren günler için ısıtma derece gün sayısı değerleri, soğutma gerektiren günler için de soğutma derece gün sayısı değerleri kullanılmıştır. Kok tozu tüketimleri-üretim (ton) + dış hava sıcaklığı (HDD ve CDD) ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranında (Ayarlı R² değeri referans alınır) istenilen oranda bir artış yaşanmadığı görülmektedir. Bu sebeple bu veriler kullanılarak kok tozu tüketimleri için formül yazmak mümkün olmayacaktır. Ayrıca kesişim katsayısının da negatif olduğu görülmektedir. Bu değerler kok tozu tüketimi ve üretim-ısıtma-soğutma derece gün sayılarının arasındaki ilişkiyi açıklamaya yeterli düzeyde değildir.

2018 yılı elektrik tüketimleri için yukarıda ortaya konan denklem [Elektrik Tüketimi (kWh) = 545,5722 x üretim miktarı (ton) + 14.284.238,6827] 2018 yılı üretim değerlerine göre uygulandığında, 2019 yılında gerçekleşen ve olması gereken

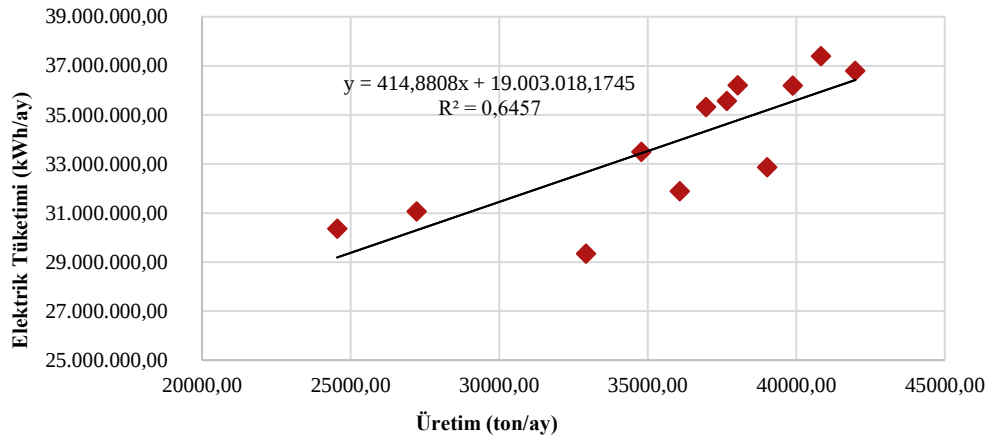
tüketimler Tablo 5.5'teki gibi olmaktadır.

Tablo 5.5. 2019 yılı elektrik gerçekleşen-olması gereken tüketimler

2019	Elektrik Tüketim Miktarı	2018 Yılı Referans Alındığında Tahmin Edilen Elektrik Tüketimi	Tahmin Edilen Tüketimden Sapma Miktarı	Tahmin Edilen Tüketimden Sapma Yüzdesi
	kWh/ay	kWh/ay	kWh/ay	%
Ocak	30.425.132,00	33.738.252,19	-3.313.120,19	-10,89%
Şubat	32.421.792,00	35.674.487,93	-3.252.695,93	-10,03%
Mart	36.476.082,00	38.454.723,86	-1.978.641,86	-5,42%
Nisan	33.801.232,00	36.246.984,12	-2.445.752,12	-7,24%
Mayıs	34.025.223,00	36.389.733,08	- 2.364.510,08	-6,95%
Haziran	31.107.688,00	33.854.459,07	-2.746.771,07	-8,83%
Temmuz	36.555.341,00	37.191.484,16	-636.143,16	-1,74%
Ağustos	22.278.406,00	27.606.020,66	-5.327.614,66	-23,91%
Eylül	17.851.408,00	25.107.845,56	-7.256.437,56	-40,65%
Ekim	31.063.321,00	35.125.642,29	-4.062.321,29	-13,08%
Kasım	31.030.403,00	34.515.692,58	-3.485.289,58	-11,23%
Aralık	29.060.393,00	31.453.941,39	-2.393.548,39	-8,24%
TOPLAM	366.096.421,00	405.359.266,89	-39.262.845,89	-10,72%

Tablo 5.5'te 2019 yılı elektrik tüketimlerine bakıldığında, tahmin edilen elektrik tüketimine göre 39.262.845,89 kWh daha az bir tüketim söz konusudur.

Çelikhane enerji tüketimleri için yapılan analizler haddehane üretim ve tüketimleri ile tekrarlanmıştır.



Şekil 5.12.2017 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-elektrik tüketimi ilişkisi

Şekil 5.12'deki grafikte bulunan eşitlikten de görülebileceği gibi haddehane üretim

miktarı ile elektrik tüketimleri arasında %64,57'lik (R^2) bir bağıntı olduğu görülmüştür.

Regresyon analizlerinde, değişkenlerin birbirleri üzerinde etkili olup olmadığını söyleyebilmek için o değişkeni en az %70-80 oranında etkilemesi gerekmektedir. Yukarıda verilen elektrik tüketimi – haddehane üretim ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranının istenilen değerlerde (%70 ve üzeri) olmadığı görülmektedir. %64,57'lik korelasyon değeri istenilen oranda olmadığı için açıklama yapılamamıştır. Bu sebeple, elektrik tüketimi üretim miktarı yanında dış hava sıcaklıkları ile de ilişkilendirilmiştir. Şekil 5.12'de verilen grafikte korelasyon değerinde bir artış yaşanıp yaşanmayacağını görebilmek amacıyla elektrik tüketimleri üretimin yanında ek olarak dış hava sıcaklıkları ile de ilişkisine bakılmıştır. Elektrik-HDD ve Elektrik-CDD'nin üretim ile eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.6. Elektrik-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI								
Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0,840557662							
R Kare	0,706537183							
Ayarlı R Kare	0,641323223							
Standart Hata	1641253,367							
Gözlem	12							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	2	5,8368E+13	2,9184E+13	10,8341402	0,004017805			
Fark	9	2,4243E+13	2,6937E+12					
Toplam	11	8,2612E+13						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	19975135,41	3448059,3	5,79315309	0,00026171	12175083,36	27775187,46	12175083,36	27775187,46
Üretim	371,3936893	98,5183924	3,7697904	0,00441788	148,5296024	594,2577763	148,5296024	594,2577763
HDD	5117,938482	3748,26004	1,36541713	0,20527327	-3361,214824	13597,09179	-3361,214824	13597,09179

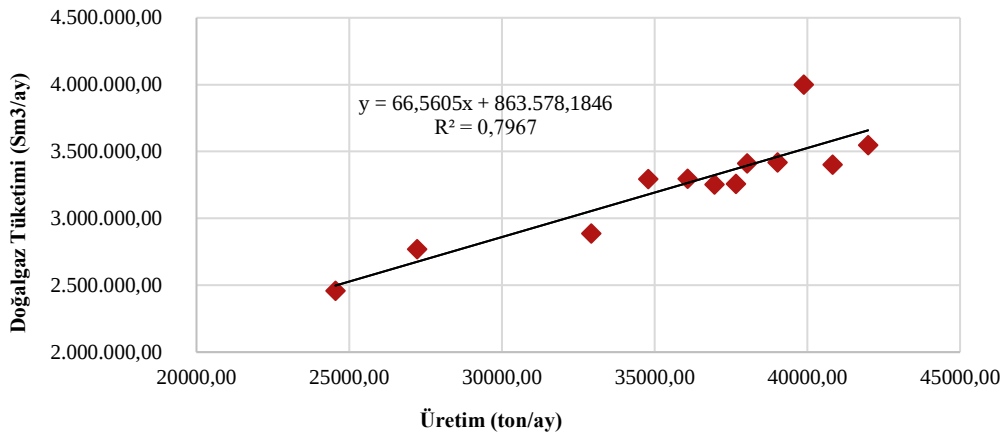
Tablo 5.7. Elektrik-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI	
Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,835047159
R Kare	0,697303758
Ayarlı R Kare	0,630037927
Standart Hata	1666873,349
Gözlem	12

Tablo 5.7. (Devam) Elektrik-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	2	5,76053E+13	2,8803E+13	10,3663887	0,00461883			
Fark	9	2,50062E+13	2,7785E+12					
Toplam	11	8,26115E+13						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	21124991,41	3831144,266	5,51401616	0,00037336	12458341	29791641,8	12458341	29791641,85
Üretim	366,6079985	102,3967473	3,58026996	0,00592825	134,970463	598,245534	134,970463	598,2455339
CDD	-13491,68551	10896,8521	-1,23812688	0,24699194	-38142,0776	11158,7065	-38142,0776	11158,70653

2018 yılı haddehane üretim ve elektrik tüketim değerleri baz alınarak yapılan regresyon analizinde elektrik istenilen oranda açıklanamamıştır. Elektrik tüketimleri dış hava sıcaklıkları ile de karşılaştırılmıştır. Dış hava sıcaklıkları verisi olarak ısıtma gerektiren günler için ısıtma derece gün sayısı değerleri, soğutma gerektiren günler için de soğutma derece gün sayısı değerleri kullanılmıştır. Elektrik tüketimleri-üretim (ton) + dış hava sıcaklığı (HDD ve CDD) ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranında (Ayarlı R^2 değeri referans alınır) istenilen oranda bir artış yaşanmadığı görülmektedir. Bu sebeple bu veriler kullanılarak elektrik tüketimleri için formül yazmak mümkün olmayacaktır. Ayrıca CDD katsayısının da negatif olduğu görülmektedir. Bu değerler elektrik tüketimi ve üretim-ısıtma-soğutma derece gün sayılarının arasındaki ilişkiyi açıklamaya yeterli düzeyde değildir.



Şekil 5.13. 2018 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-doğalgaz tüketimi ilişkisi

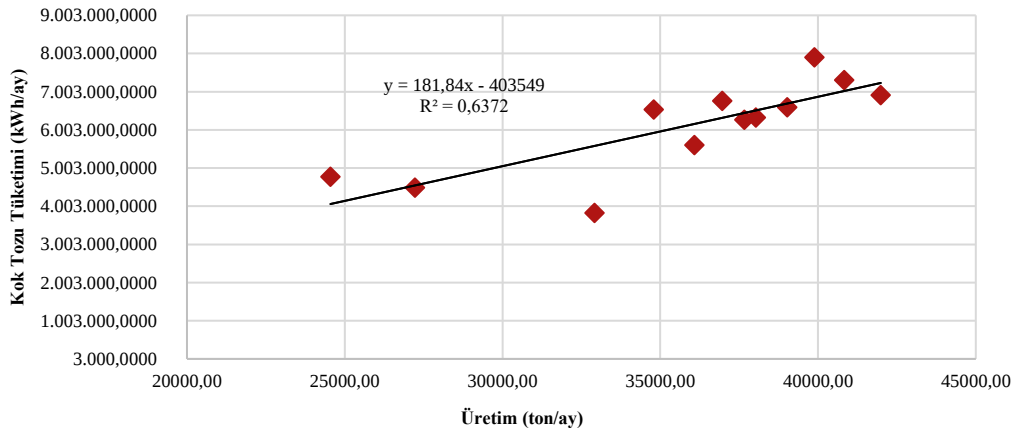
Şekil 5.13'te bulunan grafikten de görülebileceği üzere, haddehane üretim miktarı ile doğalgaz tüketimleri arasında %79,67'lik (R^2) bir bağıntı gözlemlenmektedir.

Şekil 5.13'te bulunan grafikte yer alan denkleme bakıldığında, elde edilen eşitliğin

%70 oranından büyük çıkması sebebi ile doğalgaz tüketimlerinin yüksek oranda açıklanabildiği görülmektedir (%79,67). Bu bilgiler göz önüne alındığında, yukarıda verilen grafiğe göre doğalgaz tüketimleri ile üretim miktarlarının ilişkisini aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür;

$$\text{Doğalgaz Tüketimi}(\text{Sm}^3)=66,5605 \times \text{üretim (ton)}+863.578,1846 \quad (5.8)$$

Denklem 5.8'deki eşitlik kullanılarak, işletmenin ilerleyen dönemlerindeki planlanan üretime karşılık ne kadarlık bir doğalgaz tüketiminin olabileceği hesaplanabilir. Bu denklemde, işletmede üretimin olmadığı dönemde, yaklaşık 863.578,1846 Sm³'lük bir doğalgaz tüketimi gerçekleşmektedir. Gerçekleşen bu tüketim işletmenin baz doğalgaz yükü olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 5.14. 2018 yılı haddehane üretim miktarı (ton)-kok tozu tüketimi ilişkisi

2018 yılı üretim miktarı ile kok tozu tüketimleri arasında %63,72'lik (R^2) korelasyon bulunmaktadır. Yukarıda verilen kok tozu tüketimi – haddehane üretim ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranının istenilen değerlerde (%70 ve üzeri) olmadığı görülmektedir. %63,72 korelasyon değeri istenilen oranda olmadığı için açıklama yapılamamıştır.

Korelasyon değerleri istenilen oranda bulunmadığı için, kok tozu tüketimleri üretimlerin yanında dış hava sıcaklıkları ile de ilişkilendirilmiştir. Şekil 5.14'te verilen grafikte korelasyon değerinde bir artış yaşanıp yaşanmayacağını görebilmek amacıyla kok tozu tüketimleri üretim miktarına ek olarak dış hava sıcaklıkları ile de ilişkisine bakılmıştır. Kok tozu-HDD'nin üretim ile eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş

formülasyonu Tablo 5.8’de, Kok tozu-CDD’nin üretim ile eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.8. Kok tozu-HDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI								
Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0,866409123							
R Kare	0,750664768							
Ayarlı R Kare	0,695256939							
Standart Hata	667499,4791							
Gözlem	12							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	2	1,2073E+13	6,0364E+12	13,5479909	0,001929863			
Fark	9	4,01E+12	4,4556E+11					
Toplam	11	1,6083E+13						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	182407,4175	1402329,36	0,13007459	0,89936826	-2989881,996	3354696,831	-2989881,996	3354696,831
Üretim	155,6296967	40,0675343	3,88418452	0,00370767	64,99063695	246,2687564	64,99063695	246,2687564
HDD	3084,905609	1524,42132	2,02365682	0,0736856	-363,5750029	6533,386221	-363,5750029	6533,386221

Tablo 5.9. Kok tozu-CDD ve üretimin eş zamanlı olarak ilişkilendirilmiş formülasyonu

ÖZET ÇIKIŞI								
Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0,798542432							
R Kare	0,637670015							
Ayarlı R Kare	0,557152241							
Standart Hata	804657,8345							
Gözlem	12							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	2	1,02555E+13	5,1277E+12	7,919618	0,01037455			
Fark	9	5,82727E+12	6,4747E+11					
Toplam	11	1,60828E+13						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%	Yüksek 95,0%
Kesişim	-491788,9866	1849426,803	-0,26591427	0,79629653	-4675483,08	3691905,1	-4675483,08	3691905,102
Üretim	183,8495045	49,43047712	3,71935525	0,00477538	72,0299967	295,669012	72,0299967	295,6690124
CDD	561,0360605	5260,290124	0,10665497	0,91740227	-11338,5669	12460,639	-11338,5669	12460,63904

2018 yılı üretim ve kok tozu tüketim değerleri baz alınarak yapılan regresyon analizinde kok tozu istenilen oranda açıklanamamıştır. Kok tozu tüketimleri dış hava sıcaklıkları ile de karşılaştırılmıştır. Kok Tozu tüketimleri-üretim (ton) + dış hava sıcaklığı (HDD ve CDD) ilişkisi incelendiğinde, korelasyon oranında (Ayarlı R² değeri referans alınır) istenilen oranda bir artış yaşanmadığı görülmektedir. Bu sebeple bu veriler kullanılarak kok tozu tüketimleri için formül yazmak mümkün olmayacaktır.

Ayrıca kesişimin de negatif olduğu görülmektedir. Bu değerler kok tozu tüketimi ve üretim-ısıtma-soğutma derece gün sayılarının arasındaki ilişkiyi açıklamaya yeterli düzeyde değildir (en az %70-80 oranında olmalı).

2018 yılı doğalgaz tüketimleri için Denklem 5.8’de ortaya konan formül [Doğalgaz Tüketimi (Sm³)=66,5605 x üretim(ton) + 863.578,1846] 2019 yılı üretim değerlerine göre uygulandığında, 2019 yılında gerçekleşen ve olması gereken tüketimler Tablo 5.10’daki gibi olmaktadır.

Tablo 5.10. 2019 yılı doğalgaz gerçekleşen -olması gereken tüketimler

2019	Doğalgaz Tüketim Miktarı	2018 Yılı Referans Alındığında Tahmin Edilen Doğalgaz Tüketimi	Tahmin Edilen Tüketimden Sapma Miktarı	Tahmin Edilen Tüketimden Sapma Yüzdesi
	Sm3/ay	Sm3/ay	Sm3/ay	%
Ocak	3.121.797,00	3.050.423,41	71.373,59	2,29%
Şubat	2.933.463,00	3.206.374,66	- 272.911,66	-9,30%
Mart	3.264.869,00	3.317.464,14	-52.595,14	-1,61%
Nisan	3.010.389,00	3.157.985,18	- 147.596,18	-4,90%
Mayıs	3.203.741,00	3.222.149,50	-18.408,50	-0,57%
Haziran	2.647.218,00	2.760.818,68	-113.600,68	-4,29%
Temmuz	3.071.108,00	3.330.709,68	- 259.601,68	-8,45%
Ağustos	2.107.562,00	2.241.380,53	-133.818,53	-6,35%
Eylül	2.018.337,00	2.366.314,59	-347.977,59	-17,24%
Ekim	2.544.849,00	2.839.027,26	- 294.178,26	-11,56%
Kasım	2.492.327,00	2.905.055,28	- 412.728,28	-16,56%
Aralık	2.682.735,00	2.889.546,68	- 206.811,68	-7,71%
TOPLAM	33.098.395,00	35.287.249,59	- 2.188.854,59	-6,61%

5.3. Yapay Sinir Ağları ile Tüketim Tahminleri

Yapay sinir ağları, beynin öğrenme şeklini taklit ederek öğrenme, hatırlama, genelleme yapma yolu ile elde ettiği verilerden yeni veri üretimi gibi fonksiyonların gerçekleştirildiği yazılımlardır. Yapay sinir ağları, insan beynini örnek alarak, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır [32]. Sinir ağları, yapay nöronlar arasındaki etkileşim aracılığıyla davranışları tekrarlayan bir makine öğrenme algoritması sınıfıdır. Yapay sinir ağları ileri derecede karmaşık verileri dahi ilişkilendirebilmektedir. Doğrusal olmayan verilerin karmaşık bir fonksiyona ait olması durumunda bu fonksiyona yakınsayabilmekte ve fonksiyona ait tanım kümesinde bulunan tüm veriler için doğru sonuca ulaşabilmektedir. Bu özelliği ile yapay sinir ağları, karmaşık fonksiyonların modellenmesinde ve denetiminde kullanılmaktadır [33]. Sinir ağları karmaşık sistemleri modellemede avantajlara sahiptir. Zaman serisi tahmin sistemleri, geçmiş ve şu an ki verilere dayanarak gelecekteki durumu öngörmeye yarayan tahmin sistemleridir. Geçmiş yıllarda, zaman serileri problemleri için lineer istatistiksel yöntemler kullanılırdı. Günümüzde ise veri sayısının artması ile karmaşık ve doğrusal olmayan zaman serileri tahminleri için lineer istatistiksel yöntemler ihtiyaca tam olarak cevap verememektedir [34]. Sinir ağları, kullanıcının veri içerisindeki ilişkiyi varsayan modelde bulunan parametre etkileşimlerini, önceden tanımlamasına ihtiyaç duymaz. Bunun yerine sinir ağları, en iyi modeli otomatik olarak üretebilmek için parametreler arasındaki ilişkiyi ve örüntüyü bulmaya çalışır. İleri yönlü sinir ağları, popüler makine öğrenme algoritmalarından olan perseptronlardan sonra geliştirilmiştir. Çok katmanlı perseptron ağlarına ise ileri yönlü sinir ağları denilmektedir. İleri beslemeli sinir ağları tek yönlü sinyal akışı için izin verir.

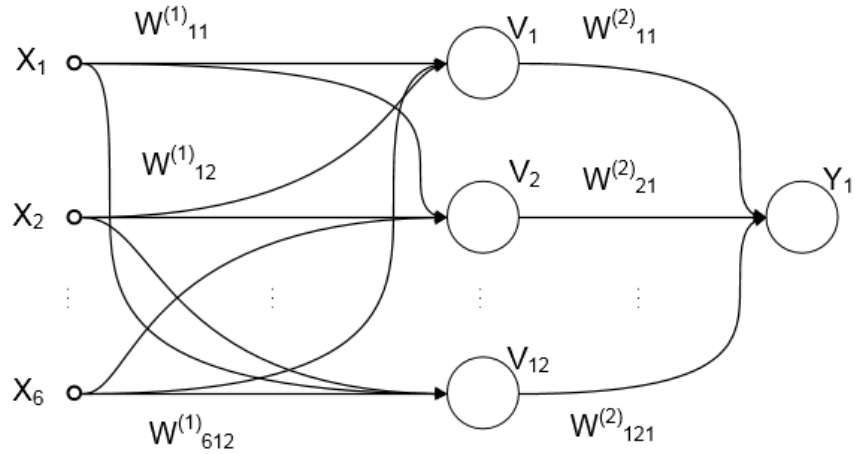
Geri yayılma algoritması, kolay olması ve uygulamalardaki başarılarından dolayı ağ eğitimi için yaygın olarak kullanılan öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Geri yayılmalı öğrenme kuralı, çıkıştaki hata düzeyine göre her bir katmandaki ağırlıkları tekrar hesaplamak için kullanılmaktadır. Bir geri yayılımlı ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısı arttırılabilmektedir [35].

LSTM, tekrarlayan sinir ağlarının bir türü olarak Hochreiter ve Schmidhuber [36] tarafından geliştirilmiştir. LSTM algoritması, zaman serileri verilerinden otomatik özellik çıkarma yeteneği ve karmaşık lineer olmayan durumları öğrenmesi ile öne çıkmaktadır. LSTM, sıralı olan veri gruplarının modellenmesi için uygulanan RNN algoritmasının bir türü olmakla beraber 1990 yıllarının sonunda geliştirilmiştir. RNN genel olarak, girdi verisindeki her bir bilgiyi, bir önceki çıktının değerini de göz önünde bulundurarak tekrarlı olarak incelemede bulunur. Bu yapıda, geçmiş zaman dilimlerindeki verileri göz önüne alan bir öğrenme gerçekleştirdiği iddia edilmesine rağmen gradyan kaybolması/patlama sorunu sebebi ile bunun mümkün olmadığı belirtilmiştir [37]. Bu sorunun üstesinden gelmek için uzun süreli bilgiyi hatırlayabilen LSTM mimarisi geliştirilmiştir.

5.3.1. Yapay sinir ağları ile oluşturulan model

Yapılan çalışmanın bu bölümünde, ağır endüstri sınıfındaki bir çelik üretim fabrikasının uzun dönemli enerji tüketiminin tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait veri setleri kullanılarak eğitim/öğrenme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağlarında veri eğitiminin temel amacı, hata fonksiyonu sonucu ulaşılan değerin en aza indirilmesidir. Bu nedenle, yapay sinir ağlarının kalitesi, hata fonksiyonu ile belirlenebilir. Verilerin eğitilmesinde, kullanılan fonksiyon çeşidi, ağların yapısı vb. özelliklere göre değişiklik gösterebilmektedir.

Oluşturulan model kullanılarak 2019 yılına ait öznitelik girdileri ile enerji tüketimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. En iyi tahmin yöntemini bulabilmek amacıyla LSTM modeli geliştirilerek geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. LSTM modelinin oluşturulabilmesi amacıyla tesise ait çelikhane üretim miktarı (ton/saat), haddehane üretim miktarı (ton/saat), çelikhane elektrik tüketim miktarı (kWh/ton), haddehane elektrik tüketim miktarı (kWh/ton), HDD, CDD öznitelik girdileri olarak belirlenmiştir. Bu öznitelik girdileri kullanılarak fabrikanın toplam enerji tüketimi uzun dönemli olarak öngörülmek istenmiştir. Şekil 5.15, bu çalışmada oluşturulan sinir ağının; giriş, gizli ve çıkış katmanlarını göstermektedir. Sırasıyla giriş katmanında 6, gizli katmanda 12 ve çıkış katmanında 1 olmak üzere toplamda 19 adet nöron ve 84 adet ağırlık parametresi ile hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5.15. Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı yapısı

5.3.2. Tüketim tahmin verileri

Kısa zaman dönemli enerji tüketimi tahminleri, gün öncesi piyasa operasyonları için, orta vadeli enerji tüketim tahminleri, yakın gelecekte oluşacak elektrik tüketimini tahmin ederek enerjinin yönetiminde oldukça etkilidir. Bu kapsamda yapay sinir ağları ile oluşturulan 3 farklı model ile yapılan analiz çalışmasında, 6 farklı giriş parametresine ait 1'er saatlik dönemler ile kayıt altına alınan toplam 34560 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerin 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait 25920 tanesi ile yukarıda detaylı olarak bahsedilen LSTM, BPNN ve regresyon modellerinin eğitilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu eğitme işlemi sonucunda oluşan ağ yapısını kullanarak, farklı yıllara ait enerji tüketim tahminleri yapılmıştır. 3 farklı metot ile yapılan bu çalışmada hangi modelin daha iyi sonuç verdiğini belirlemek için RMSE ve MAE parametreleri kullanılmıştır.

RMSE değerlerini bulmak için kullanılacak hesaplama yöntemi;

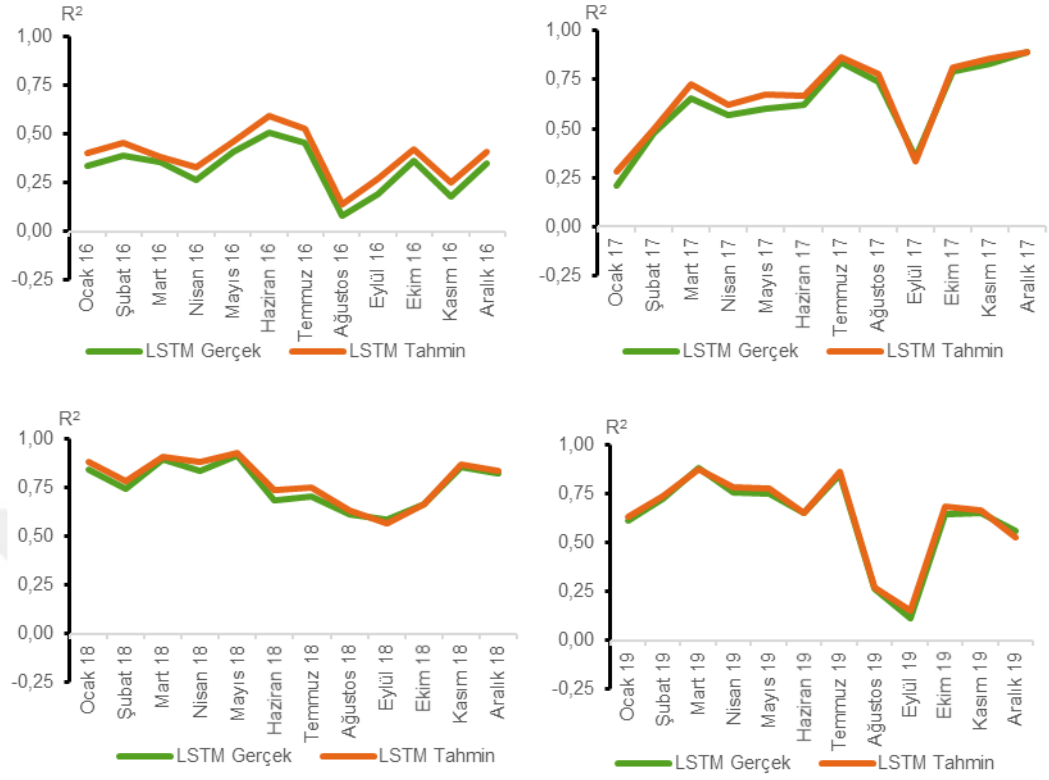
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\hat{X}_t - X_t)^2} \quad (5.9)$$

MAE değerlerini bulmak için kullanılacak hesaplama yöntemi;

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |\hat{X}_t - X_t| \quad (5.10)$$

Şekil 5.16'da LSTM metodu kullanılarak 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler ile

eğitilen ağın yine bu yıllar için enerji tüketim tahmin performansı tespit edilmiştir.



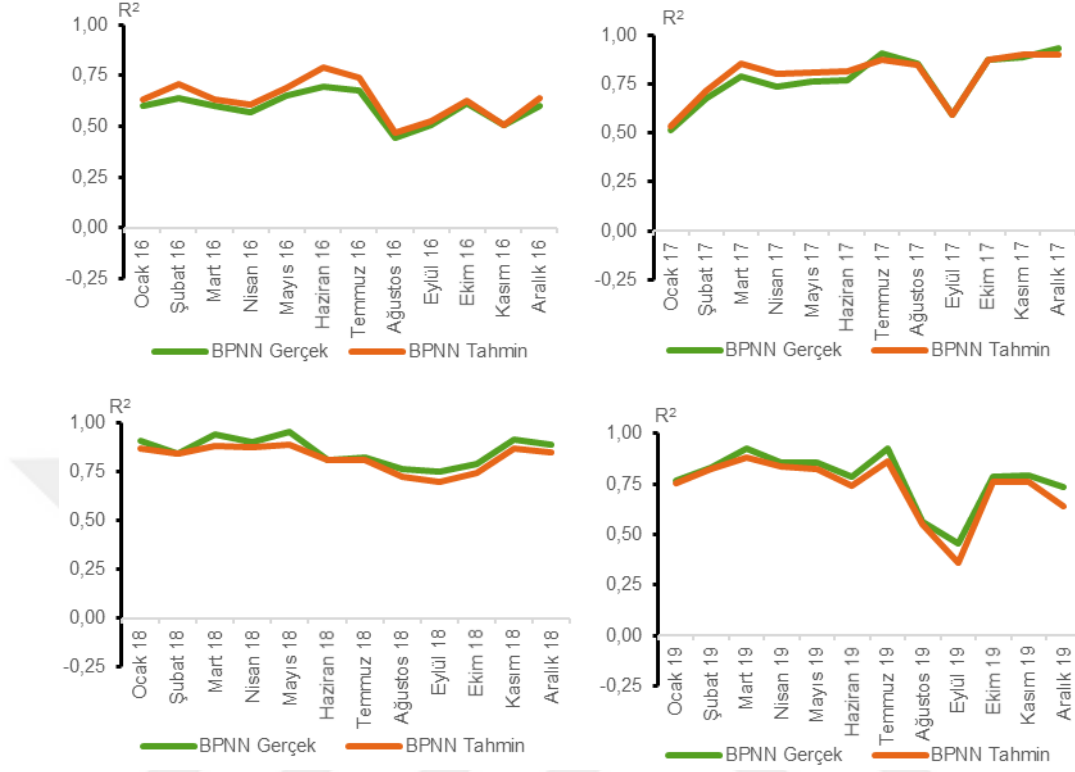
Şekil 5.16. 2016-2017-2018-2019 yılları LSTM gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması

2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları için RMSE değerleri sırasıyla 0,0812, 0,0701, 0,0575 ve MAE değerleri ise sırasıyla 0,0669, 0,0569, 0,0477 olarak bulunmuştur. Ağın performans testi için kullanılan 2019 yılı verileri ile yapılan tahmin işleminde RMSE değeri 0,0586, MAE değeri ise 0,0482 olarak bulunmuştur.

LSTM metodu ile yapılan analizde, Şekil 5.16’da görüldüğü üzere 2016 yılı ve 2017 yılının 6. ayına kadarki bölümde tahmin hatasının yüksek olduğu görülmektedir. 2017 yılının ikinci yarısı ise, 2018 ve 2019 yıllarında ise LSTM ağına daha doğru tahminde bulunabildiği görülmüştür.

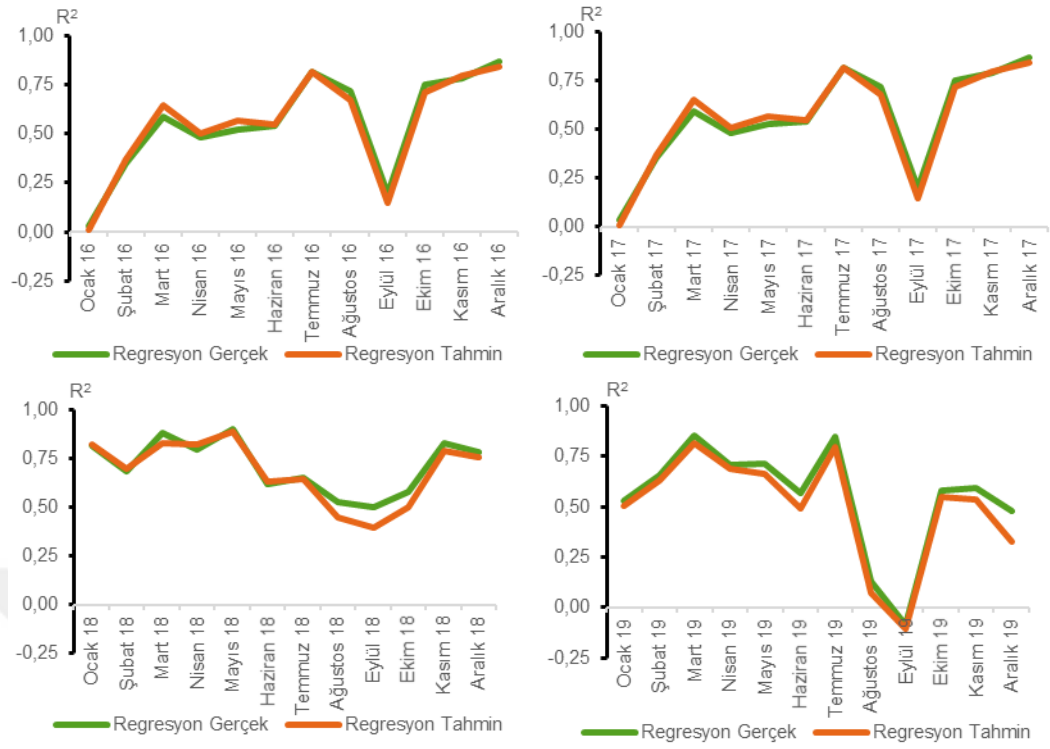
Şekil 5.17’de BPNN metodu kullanılarak 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler ile eğitilen ağı yine bu yıllar için enerji tüketim tahmin performansı tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda RMSE değerleri sırasıyla, 0,0561, 0,0491, 0,0517, 0,0608 olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarında MAE değerleri ise sırasıyla 0,0459, 0,0401, 0,0431, 0,0488 olarak bulunmuştur. Yapılan analizler ve karşılaştırmalar

neticesinde, BPNN modelinin tahmin performansının, 2019 yılı için önceki 3 yılın tahminlerine göre daha yüksek hataya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 5.17. 2016-2017-2018-2019 yılları BPNN gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması

Şekil 5.18’de regresyon metodu kullanılarak 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait veriler ile eğitilen ağın yine bu yıllar için enerji tüketim tahmin performansı tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre enerji tüketim tahmin performansı RMSE değerleri sırasıyla; 0,0770, 0,0711, 0,0790, 0,0879 ve MAE değerleri ise sırasıyla; 0,0629, 0,0586, 0,0645 ve 0,0712 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre lineer regresyon modelinin tahmin sonuçları, 2019 yılı için BPNN’ye benzer şekilde, önceki yıllara göre daha yüksek bir hata oranına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.18. 2016-2017-2018-2019 yılları Regresyon gerçek veriler ve tahmin verileri karşılaştırması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstriyel işletmelerde, enerji verimliliği çalışmaları yapmak artan enerji maliyetleri sebebi ile kaçınılmaz hale gelmiştir. Enerji verimliliği çalışmaları yaparken, ilk şart ölçmektir. İşletmelerde enerji verimsizliklerini tespit edebilmek amacıyla ölçülen verilen toplanarak bu verilerin analiz edilmesi ve analiz sonuçlarına göre işletmenin verimi düşük proseslerde veya ekipmanlarda önlem alması gerekmektedir. Son yıllarda enerji verimliliği kavramının yayılması ile bunun daha sistematik bir şekilde yapılmasının istenmesi enerji yönetimi kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple sistematik bir yaklaşım ile enerji yönetim sistemi kurmayı amaçlayan işletmeler ISO 50001 standardını esas alarak yönetim sistemi standardının gereklerini yerine getirme konusunda çalışmalar yapmaktadırlar. Enerji yönetiminin gerekliliğini yerine getirmek amacıyla enerji ölçümlerinin yapılması ve verilerin analiz edilmesi işletmeler tarafından üzerinde önemle durulan konulardan olmuştur.

Enerji izleme sistemleri, endüstriyel işletmelerin yapmış olduğu enerji verimliliği çalışmalarının sonuçlarını takip edebilmesi ve çalışma öncesi ile karşılaştırabilmesi için kayıtlar oluşturarak verilerin analizlerini sağlayabilmektedir. Aynı zamanda yapılacak yatırımların enerji konusunda etkisini gözlemleyebilmektedir. Enerji izleme sistemleri enerjiye dair yatırım kararlarından önce geçmiş yılların tüketimlerini mevsim değişkenlikleri de dahil ederek normalize eder. Buna göre bir referans değer oluşturarak enerji verimliliği çalışmaları/yatırımları sonrası enerji tüketimlerinin karşılaştırılmasına yardımcı olur. Böylece, ISO 50001 standardının 6.5. maddesi olan enerji referans noktası maddesi gerekliliği olan EnPG ve EnRÇ'lerin normalize edilmesi durumunu karşılar.

Bir enerji izleme sistemi ile işletmelerde enerjinin anlık olarak takibi sağlanabildiği için arıza durumlarını da anlık olarak gösterebilmektedir. Böylece anlık müdahaleler söz konusu olarak fazla tüketimlerin önüne geçilmiş olur. Geçmiş enerji trendlerini analiz ederek bir saat sonrasının, hatta bir yıl sonrasının bile enerji tüketimini tahmin

edebilir. Böylece işletme enerji faturalarının miktarını önceden tahmin ederek maliyetleri azaltma konusunda daha dikkatli davranabilir. Bu konuda enerji izleme sistemlerinin uyarıcı bir etkisi bulunmaktadır. Aynı zamanda, ISO 50001 standardının 6.3. maddesi olan enerji gözden geçirme maddesinde yer verilen “kuruluş, gelecekteki enerji kullanımını/kullanımlarını ve enerji tüketimini tahmin etmelidir.” İbaresini de böylece karşılamış olmaktadır. İşletmenin tüketim değerleri ile 3 farklı metotta yapılan tüketim tahminlerinde Tablo 6.1’de verilen değerler gözlemlenmiştir.

Tablo 6.1. Tüketim tahmini performans sonuçları

YIL	METOT	RMSE	MAE	BAŞARI ORANI
2016	LSTM	0,0812	0,0669	%81,72
	BPNN	0,0561	0,0459	%93,79
	REGRESYON	0,0770	0,0629	%82,82
2017	LSTM	0,0701	0,0569	%93,69
	BPNN	0,0491	0,0401	%97,36
	REGRESYON	0,0711	0,0586	%99,56
2018	LSTM	0,0575	0,0477	%97,47
	BPNN	0,0517	0,0431	%95,59
	REGRESYON	0,0790	0,0645	%95,55
2019	LSTM	0,0586	0,0482	%98,43
	BPNN	0,0608	0,0488	%94,47
	REGRESYON	0,0879	0,0712	%90,48

Bir işletmede enerji tasarrufu için alınan önlemler ve enerji verimliliğini bir kültür haline getirmek ve bunu davranışsal değişiklere yansıtmak enerji yönetiminde enerji tüketimlerini azaltmaya yarayan en önemli durumlardan biridir. İşletmede kullanılan bir enerji izleme sistemi ile gece açık kalan aydınlatma ve enerji tüketen ekipmanların kapatılması ile veya mevsimsel şartlara göre iklimlendirme sistemlerini set değerlere ayarlanması ile ne kadarlık bir tasarruf sağlanacağı görülebilmektedir. Böylece enerji yönetim sistemi kapsamında işletmenin oluşturduğu enerji tasarruf politikalarına ne ölçüde uyum sağlandığı belirlenebilir. Aynı zamanda enerji verimliliği ile ilgili farkındalık yaratarak personeli enerji yönetimine katmak hem işletme hem de personeller için büyük önem taşımaktadır. Böylece ISO 50001 standardının 7.3. maddesi olan farkındalık maddesi ile uyum sağlamaktadır.

Enerji izleme sistemleri, bir endüstriyel işletmede işletimin kontrolünü sağlamada ve enerji yönetiminin kolayca sağlanmasında büyük öneme sahiptir. Bu sebeple işletmenin bir enerji izleme sistemine sahip olması işletmeye birçok konuda fayda sağlayacaktır. Gerçek zamanlı enerji ve güç ölçümü, tüketim anormalliklerinin tespiti ve uyarı mekanizması, mevsimsel tüketim analizleri, tüketim ve fatura bilgisi hesaplama, enerji tarifi takibi ve alternatif tarife karşılaştırmaları, birçok tesisi tek noktadan takip edebilme vb. faydaları ile enerji yönetiminin daha sağlıklı yapılabilmesini sağlayacaktır. Sağlıklı bir enerji yönetimi için enerji izleme sistemlerinin kullanılarak işletimin kontrolünün sağlanması tavsiye edilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Word Energy Outlook, *TÜSİAD*, TÜSİAD-T/2013/12/544, 1-8, 2013.
- [2] TS EN ISO 50001, Enerji Yönetim Sistemleri Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2018.
- [3] Şahin A., Elektrik Dağıtım Tesislerinde Enerji İzleme Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 384832.
- [4] Motegi N., Piette M., Kinney S., Dewey J., Case Studies of Energy Information Systems and Related Technology: Operational Practices, Costs, and Benefits, *International Conference for Enhanced Building Operations*, USA, 13-15 October 2003.
- [5] Özbakır P., Enerji Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 180523.
- [6] Uzun A., Değirmen M., Energy Efficiency and Energy Management in Industrial, *International Journal of Economic Studies*, 2018, 4(2).
- [7] T.C. Resmi Gazete, 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, Sayı:26510, Ankara.
- [8] Hepbaşlı A., *Enerji Verimliliği ve Yönetimi: Yaklaşımlar ve Uygulamalar*, 1.Baskı, Esen Ofset Matbaacılık, İstanbul, 174, 2010.
- [9] Engin P., Türkiye’de Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Sanayi Kuruluşları ve Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2018, 505403.
- [10] Bayraç H., Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğalgaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2009, 10(1),115-142.
- [11] Kavak K., Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Devlet Planlama Teşkilatı <http://www.solar-academy.com/menus/Dunyada-ve-Turkiye-de-Enerji-Verimliliği-Incelenmesi.005259.pdf> , (Ziyaret Tarihi: 03 Nisan 2019).
- [12] Türkay M., Yılmaz Ş., Şan B. Ş., Aras B., Denk A., Kılavuz M. T., Kublay A. G., Ören Y.C., Yardımcı A., Türkiye’nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler, *Koç Üniversitesi Tüpraş Enerji Merkezi*, 1-35, 2012.

- [13] URL-1:
https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/Stratejikplan/2019_Turkiye_Dagitim_Sektor_Raporu_16430543.pdf ,(Ziyaret tarihi:3 Haziran 2020)
- [14] URL-2: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>,
(Ziyaret tarihi:2 Mayıs 2020)
- [15] URL-3: <https://www.aceee.org/> (Ziyaret tarihi:4 Nisan 2020)
- [16] Esen K., Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat, Elektrik Mühendisleri Odası, 6. *Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi*, Sakarya, Türkiye, 4-6 Haziran 2015.
- [17] URL-4: <https://www.jacobalbertain.dk/komposit/Darmstadtrapport.pdf> (Ziyaret tarihi:2 Mart 2020)
- [18] Bayram O., Endüstrilerde Kullanılan Santrifüj Pompaların Enerji Verimlilikleri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 538732.
- [19] Sullivan J. A., *Fluid Power-Theory and Applications*, 2.nd edition, Reston Pub. Co., USA, 1989.
- [20] Yuan C., Zhang, T., Rangarajan, A., Dornfeld, D., Ziemba, B., Whitbeck, R., A Decision-based Analysis of Compressed Air Usage Patterns in Automotive Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 2006, 25(4), 293-300.
- [21] Güleç M., Pnömatik Sistemlerde Tasarruf Önlemleri ve Yöntemleri, *MMO I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 3-5 Aralık 1999.
- [22] Saidur R., Rahim, N., Hasanuzzaman, M., A Review on Compressed-Air Energy Use And Energy Savings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(4), 1135–1153.
- [23] Aypak N., Gülbal A., Etemoğlu B., Çakal C., Aydemir E., Gümüş Z., *Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği El Kitabı*, 1.Baskı, BUSİAD Yayınları, Bursa, 2016.
- [24] Çolak N., Hareket Sensörleri ile Aydınlatmanın Kontrolü, *3e Electrotech Dergisi*, 2003, 7(98),70-71.
- [25] Gençoğlu M.T., İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu, *III.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, Ankara,Türkiye, 23-25 Kasım, 2005.
- [26] URL-5: https://www.unido.org/sites/default/files/2015-04/15-00722_Ebook_2.pdf, (Ziyaret tarihi:5 Temmuz 2020)
- [27] Caffall C., *Learning From Experiences With Energy Management In Industry*, 1995, N. p., Netherlands, 1995.

- [28] Kıyılmaz B., Sanayide Enerji Yönetimi Esasları ve Enerji Verimliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2019, 558714.
- [29] URL-6: <https://www.se.com/tr/tr/work/services/energy-and-sustainability/energy-and-sustainability-software/energy-management-software-resource-advisor.jsp> (Ziyaret tarihi:10 Mayıs 2020)
- [30] URL-7: https://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2018-12/Arvind%20Limited_India.pdf, (Ziyaret tarihi:13Ekim 2020)
- [31] URL-8: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx>, (Ziyaret tarihi:02 Şubat 2020)
- [32] URL-9: <https://ekblc.files.wordpress.com/2014/02/ysa.pdf>, (Ziyaret tarihi:10 Ekim 2020)
- [33] Skapura M.D., *Building Neural Networks*, 3.rd ed., ACM Press, New York, pp 211-241,1996.
- [34] Sagheer A., Kotb M., Time Series Forecasting Of Petroleum Production Using Deep LSTM Recurrent Networks, *Neurocomputing*, 2019, **323**(1), 203-213.
- [35] Keleşoğlu Ö., Yapay Sinir Ağları ile Betonarme Kiriş Kesitlerin Analizi, *Teknik Dergi*, 2006, **17**(83), 3935-3942.
- [36] Hochreiter S., Schmidhuber J., Long Short-Term Memory, *Neural Computation*, 1997, **9**(8), 1735- 1780.
- [37] Xiao Y., & Yin Y., Hybrid LSTM Neural Network for Short-Term Traffic Flow Prediction, *Information*, 2019, **10**(3), 105.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Uzun E.**, Ayaz M., Endüstriyel İşletmelerde Enerji İzleme Sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine Katkıları, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019, ss.1658-1665.
- [2] **Uzun E.**, Kaya D., Çanka KILIÇ F., Eyidoğan M., Taylan O., Cam Endüstrisinde Enerji Verimliliği, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018, ss.899-905.
- [3] **Uzun E.**, Çanka KILIÇ F., Eyidoğan M., Yüce M., Energy Efficiency Studies in Ceramic Sanitary Ware Industry in Turkey, *2nd International Energy Engineering Conference*, Gaziantep, Türkiye, 12-13 Ekim 2017, cilt.1, ss.512.

ÖZGEÇMİŞ

Ecem UZUN, lise öğrenimini İstanbul Eyüp Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılı içinde Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Yüksek lisans eğitiminde Endüstriyel İşletmelerde Enerji İzleme Sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine Katkıları konusunda çalışmaları bulunmaktadır.

