

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ENDÜSTRİ 4.0 VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BAKIŞ:
ALÜMİNYUM ERGİTME FABRİKASINDAN ELDE EDİLEN
VERİLERLE YAPILAN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Azat Yakup ŞENGÜL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**OCAK 2024
İSTANBUL**

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ENDÜSTRİ 4.0 VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BAKIŞ:
ALÜMİNYUM ERGİTME FABRİKASINDAN ELDE EDİLEN
VERİLERLE YAPILAN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Azat Yakup ŞENGÜL
(211280005)
(0009-0001-4671-9198)**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Utku CANCI MATUR

İstanbul 2024



**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü**

Jüri Tez Onay Formu

09.02.2024

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 09.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Utku Canci Matur

Danışman

İstanbul Gedik Üniversitesi

Prof. Dr. Feriha Erfan Kuyumcu

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif Özçoban

Üye (İmza)

Gaziantep Üniversitesi

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Endüstri 4.0 ve Enerji Verimliliğine Bakış: Alüminyum Ergitme Fabrikasından Elde Edilen Verilerle Yapılan Enerji Verimliliği Analizi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.
(09.02.2024)

Azat Yakup ŞENGÜL



ÖNSÖZ

Sürdürülebilir bir yaşam için enerjinin yönetilebilir olması ve etkin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bununla beraber endüstri ve üretim sektörü de yaşamın devamlılığı hususunda önemli noktalardan biridir. Endüstri devrimlerinin getirdiği büyük değişimler ile enerjiye olan ihtiyacın katlanarak artması, enerji verimliliğini her geçen gün daha da dikkate değer kılmıştır. Bu tez çalışması ile endüstri devrimleri ile enerji verimliliği arasındaki ilişkiyi örnek bir fabrikadan elde ettiğim verilerle analizini etme fırsatı yakaladım.

Kendisinden aldığım yenilenebilir enerji dersi ile bu alana olan ilgim ve bilgimin artmasını sağlayan, tez danışmanlığımı üstlenip çalışmamda yardımcı olan, araştırmalarında yol gösteren, bana bilgisiyle ve tecrübesiyle kaynak olan, değerli hocam Dr. Öğr. Ü. Utku CANCI MATUR'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına konu olan örnek fabrikada yürüttüğümüz saha çalışmalarında deneyimini ve desteğini benden esirgemeyen Erol ÖZDEN'e teşekkür ederim.

Birlikteliğimizden itibaren yaşamımın her alanında her zaman yanımda olan, bana güvenen, her konuda destekleyen saygı değer eşim Ece ÖZDEN ŞENGÜL'e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca emeğiyle, sevgisiyle beni destekleyen, annem Sabahat ŞENGÜL'e, merhum babam Abdulhadi ŞENGÜL'e ve bana güvenen, manevi desteğini esirgemeyen başta İpek ŞENGÜL olmak üzere tüm kardeşlerim ve dostlarıma teşekkür ederim.

Ocak 2024

Azat Yakup ŞENGÜL
Elektrik Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
GRAFİK LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
2. ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ	3
2.1 Endüstri Devriminin Aşamaları	4
2.1 Endüstri 1.0.....	5
2.1.1 Endüstri 1.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	5
2.1.2 Endüstri 1.0: İletişim ve Ulaşım Araçları	5
2.1.3 Endüstri 1.0: Üretim Süreçleri.....	6
2.2 Endüstri 2.0.....	7
2.2.1 Endüstri 2.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	7
2.2.2 Endüstri 2.0: İletişim ve Ulaşım Araçları	8
2.2.3 Endüstri 2.0: Üretim Süreçleri.....	9
2.3 Endüstri 3.0.....	10
2.3.1 Endüstri 3.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	10
2.3.2 Endüstri 3.0: İletişim ve Ulaşım Araçları	11
2.3.3 Endüstri 3.0: Üretim Süreçleri.....	12
2.4 Endüstri 4.0.....	13
2.4.1 Endüstri 4.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi.....	13
2.4.2 Endüstri 4.0: İletişim ve Ulaşım Araçları	14
2.4.3 Endüstri 4.0: Üretim Süreçleri.....	15
3. ENDÜSTRİ 4.0	16
3.1 Endüstri 4.0: Önemi ve Kapsamı	16
3.2 Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri	16
3.2.1 Nesnelerin İnterneti.....	17
3.2.2 Büyük Veri ve Bulut Teknolojisi.....	18
3.2.3 Üç Boyutlu Yazıcılar.....	19

3.2.4 Siber Fiziksel Sistemler.....	20
3.2.5 Artırılmış Gerçeklik.....	22
3.2.6 Akıllı Robotlar.....	23
3.2.7 Yatay ve Dikey Entegrasyon.....	24
3.2.8 Siber Güvenlik.....	25
4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TÜRKİYE.....	27
4.1 Enerji Verimliliği.....	27
4.2 Türkiye’de Enerji Verimliliği.....	27
4.3 Türkiye’de Enerji Tüketimi.....	30
4.4 Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği.....	33
4.4.1 Endüstriyel İşletmelerde Enerji Yönetim Sistemi.....	33
4.5 Enerji Yönetimi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi.....	35
4.5.1 Enerji Yönetimi.....	35
4.5.2 ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS).....	37
5. ENDÜSTRİ 4.0 VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BAKIŞ: ALÜMİNYUM ERGİTME FABRİKASINDAN ELDE EDİLEN VERİLERLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ.....	38
5.1 Endüstriyel İşletmelerde Otomasyon Piramidi.....	38
5.1.1 Seviye 0: Saha Seviyesi.....	38
5.1.2 Seviye 1: Kontrol Seviyesi.....	39
5.1.3 Seviye 2: İlk Kademe Yönetim Seviyesi.....	39
5.1.4 Seviye 3: Yönetim Seviyesi.....	40
5.1.5 Seviye 4: Kurumsal Seviye.....	42
5.2 Endüstriyel İşletme Bilgileri.....	43
5.2.1 İşletme Genel Bilgileri.....	43
5.2.2 İşletme Üretim Prosesi.....	44
5.2.3 İşletmede Muhtelif Panolarda Sıcaklık Ölçümleri.....	45
5.3 Endüstriyel İşletme Veri Analizi.....	47
5.3.1 Toplam Enerji Tüketimi ve Toplam Üretimin İncelenmesi.....	47
5.3.2 Üretim Miktarı ile Enerji Tüketimi Regresyon Analizi.....	50
5.3.3 Kalite İncelemesi.....	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
İNTERNET KAYNAKLARI.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Endüstri Devriminin Gelişimi.....	4
Şekil 4.1. Enerji Verimliliği Kanunu Gelişimi	29
Şekil 4.2. Kişi Başı Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh/kişi)	30
Şekil 4.3. Sektörel Bazlı Enerji Tüketim Miktar ve Oranları	32
Şekil 4.4. PUKÖ Döngüsü	35
Şekil 4.5. Enerji Yönetimi Aşamaları	36
Şekil 5.1. Endüstriyel Otomasyon Piramidi.....	38
Şekil 5.2. İşletme Proses Akışı	44
Şekil 5.3. Muhtelif Panolarda Sıcaklık Ölçümleri	46

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa

Grafik 5.1. 2018 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği	47
Grafik 5.2. 2019 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği	48
Grafik 5.3. 2020 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği	49
Grafik 5.4. 2021 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği	49
Grafik 5.5. 2022 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği	50
Grafik 5.6. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)...	51
Grafik 5.7. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik) ..	51
Grafik 5.8. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)	52
Grafik 5.9. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)...	52
Grafik 5.10. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)	53
Grafik 5.11. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)	53
Grafik 5.12. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam).	54
Grafik 5.13. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)	54
Grafik 5.14. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)	55
Grafik 5.15. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam).	55
Grafik 5.16. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)	56
Grafik 5.17. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)	56
Grafik 5.18. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam).	57
Grafik 5.19. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)	57
Grafik 5.20. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)	58
Grafik 5.21. 2018-2022 Yılları Üretim – Enerji Tüketimi Regresyon Oranları Değişimi	58
Grafik 5.22. 2021 – 2022 Yılları Arasındaki Kalite Değişim Oranları.....	60

ENDÜSTRİ 4.0 VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BAKIŞ: ALÜMİNYUM ERGİTME FABRİKASINDAN ELDE EDİLEN VERİLERLE YAPILAN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

ÖZET

İlk defa Almanya’da ortaya çıkan Endüstri 4.0 devriminde; nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi kullanılarak temel olarak üretim verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Endüstri 4.0; insan, süreç ve teknoloji üçgeninde köprü görevi üstlenecek konumdadır. Burada insan kullanıcı, süreç organizasyonel yapı, teknoloji ise yazılım ve donanım olarak adlandırılabilir. Endüstri 4.0 ile gündeme gelen “Otomasyon Piramidi” bu köprülerin kurulmasında genel çerçeve olarak tanımlanmıştır. Bu konuya tez çalışmasında ayrıca yer verilecektir.

Endüstri 4.0 ile artan ürün çeşitliliği, üretim tesislerinde harcanan enerjilerde de yukarı yönlü değişkenlik göstermeye başlamıştır. Aynı zamanda artan birim enerji maliyetleri, fabrikaları enerji verimliliği konusunda çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir.

Endüstri 4.0, fabrikaların dijitalleşmesini hedeflemektedir. Bu dijitalleşme ile insan beyanından bağımsız olarak üretim sahasından veri (üretim verileri, enerji verileri) toplanır. Elde edilen bu veriler fabrika iyileştirme çalışmaları için yol göstermekle birlikte, üretim iş emirlerinin enerjinin verimli kullanılması noktasında planlar oluşturmayı sağlar.

Bu tez çalışmasında, üretim sahasından veri toplanan bir fabrikada yapılan iyileştirme çalışmalarının enerji verimliliğine etkisinin yıllara göre değişimi gözlemlenecektir.

Anahtar Kelimeler: *Enerji Verimliliği, Endüstri 4.0*

INDUSTRY 4.0 AND ENERGY EFFICIENCY OVERVIEW: ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS WITH DATA OBTAINED FROM ALUMINUM SMELTING FACTORY

ABSTRACT

The Industry 4.0 revolution, which first emerged in Germany, mainly aims to increase production efficiency by using the Internet of Things (IoT) technology. Industry 4.0 is in a position to act as a bridge in the triangle of human, process and technology. Here, human is the user, process is the organizational structure, and technology is the software and hardware. The "Automation Pyramid", which came to the agenda with Industry 4.0, is defined as the general framework for the establishment of these bridges. This topic will be covered separately in this thesis.

The increasing product diversity with Industry 4.0 has started to show an upward variation in the energy consumed in production facilities. At the same time, increasing unit energy costs have encouraged factories to work on energy efficiency.

Industry 4.0 aims to digitalize factories. With this digitalization, data (production data, energy data) is collected from the production site independently of human declaration. This data provides guidance for factory improvement efforts and enables the creation of plans for the efficient use of energy in production work orders.

In this thesis, the change in the impact of the improvement works on energy efficiency in a factory where data is collected from the production site will be observed over the years.

Keywords: *Energy Efficiency, Industry 4.0*

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0, mevcut endüstriyel süreçlerin temelini değiştirerek, teknoloji ve otomasyonun entegrasyonu ile birlikte üretim sistemlerini daha akıllı, esnek ve verimli hale getirmektedir. Bu bağlamda, endüstriyel sektörlerde enerji kullanımının etkin bir şekilde yönetilmesi, sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu tez, özellikle alüminyum ergitme fabrikalarındaki enerji verimliliği analizi üzerinde odaklanarak, Endüstri 4.0'ın enerji verimliliği üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Alüminyum ergitme endüstrisi, büyük miktarda enerji tüketen bir sektör olup, enerji verimliliği sadece maliyetleri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel etkileri de düşürerek sürdürülebilir üretim için kritik bir unsurdur. Bu tez, Endüstri 4.0 teknolojilerinin alüminyum ergitme fabrikalarındaki enerji verimliliği üzerindeki potansiyel etkilerini anlamayı ve bu etkileri nicel verilerle analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Tez kapsamında, alüminyum ergitme fabrikasından elde edilen gerçek veriler kullanılarak, Endüstri 4.0'ın uygulanmasıyla elde edilen enerji verimliliği artışının ölçülmesi ve analizi gerçekleştirilecektir. Araştırma, endüstriyel süreçlerin dijitalleşmesi ve otomasyonunun enerji tüketimine olan etkilerini anlamak, mevcut literatürdeki boşlukları doldurmak ve alüminyum eritme sektöründe sürdürülebilir üretim pratiğine katkıda bulunmak amacıyla tasarlanmıştır.

Bu tez, Endüstri 4.0'ın enerji verimliliği alanındaki potansiyelini ortaya koymak ve alüminyum ergitme fabrikalarındaki uygulamalarıyla ilgili pratik bilgiler sunmak için önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Araştırmanın sonuçları, endüstriyel sektörde enerji yönetimi stratejilerini geliştirmek isteyen araştırmacılar, endüstri profesyonelleri ve karar alıcılar için değerli olacaktır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu tez çalışması, alüminyum ergitme fabrikalarındaki enerji verimliliği üzerinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin potansiyel etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Dijitalleşme, otomasyon ve diğer gelişmiş teknolojilerin enerji tasarrufu sağlama kapasitesini anlamak temel bir odak noktasıdır. Bu tez, alüminyum ergitme fabrikasından elde edilen gerçek verileri kullanarak Endüstri 4.0 uygulamalarının enerji verimliliği üzerindeki etkilerini nicel olarak ölçmeyi hedeflemektedir.

Bu tez çalışmasının temel hedefi, dijital dönüşüm ve enerji verimliliği alanlarında farkındalık yaratarak, bu tez çalışmasına erişim sağlayan bütün kişi ve kurumlara faydalı olacak bir yol haritası sunmaktır.

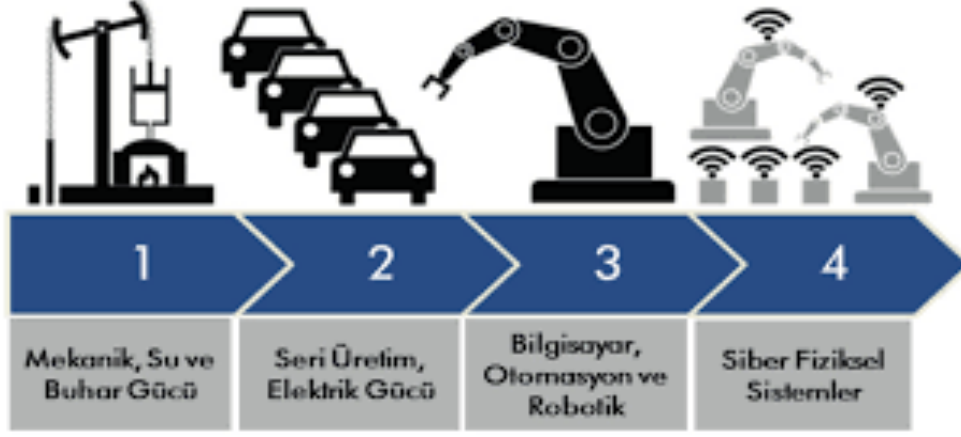
2. ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

İnsanların yaşamını sosyoekonomik yönden bütünsel bir değişime uğratan olayların başında zirai devrimler, endüstri (sanayi) devrimleri ve dijital devrimler gelmektedir. İnsanoğlu, tarihsel anlamda medeniyet ve yaşam serüveninin ilk dönemlerinde, iktisadi alanda yaşamlarını, toplayıcılık ve avlanma yaparak sürdürmekteydiler. Bu yaşam tarzından yerleşik hayata geçmeleri yaklaşık 10.000 yıl kadar sürmüştür. İnsanların hayvanları evcilleştirmesiyle toplu tarıma geçilerek insan emeği ve hayvan gücü bileşiminde yeni bir sosyoekonomik döneme geçilmiştir. Bu toplu yaşamda, tarımsal faaliyetler neticesinde gıda ürünleri üretimi artmış ve bu artış nüfus artışında pozitif bir etki yaratmıştır. Artan bu gıda üretiminin toplu yerleşime geçiş beraberinde kentleşme ve şehirleşme yönündeki olguları geliştirmiştir. İnsanların büyük yerleşim birimlerine toplanması neticesinde üretim, tüketim ve pazar kalıplarını değiştirmiş ve tarım devrimini sanayi devrimleri takip etmiştir. Artan tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için sadece kas kuvveti yetmemiş, mekanik ya da makineye dayalı bir üretim modeline geçiş sağlanarak günümüzde konuşulan Endüstri 4.0'a (Dördüncü Sanayi Devrimine) kadar ulaşan sosyal, ekonomik ve teknolojik altyapı oluşmaya başlamıştır (Shwab, K. 2017).

Ekonomide üretim ve gelir kaynakları açısından sektörel olarak önemli bir yere sahip olan sanayi ve alt sektörleri, uzun dönemden bu yana üretim modelleri ve üretim yapılarını değiştirmektedirler. Bu değişim ve dönüşüm sonucunda, bu sektörün önemli bir kısmı değişmiş, yeni sektörler ve üretim modelleri ortaya çıkmıştır (Özdoğan, O. 2017).

2.1 Endüstri Devriminin Aşamaları

Endüstri devrimlerinin gelişimi Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Endüstri Devriminin Gelişimi

Kaynak: DergiPark

İnsanlık, yüzyıllar boyunca girişimciler ve bilim adamlarının getirdiği sürekli değişim ve yeniliklere maruz kalmıştır. Bu değişiklikler, insanların yaşam biçimini, kültürlerini ve çalışma şartlarını büyük ölçüde etkilemiş ve bu değişikliklerden bazıları bugün olduğu gibi varlığımızı yeniden şekillendirip, yaşamlarımızı daha iyi hale getirerek bizi sonsuza dek değiştirmiştir. Modern yaşamın büyük bir kısmının temelini oluşturan bu devrim niteliğindeki değişimler, "Endüstri Devrimleri" olarak anılmaktadır (Ramizov, H. 2017).

2.1 Endüstri 1.0

2.1.1 Endüstri 1.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Birinci endüstri devrimi, Thomas Newcomen'in 1712'de buhar makinesini icat etmesi ve James Watt'ın bu icadı daha da geliştirmesiyle başlamıştır. Bu devrim, 1830'lara kadar devam etmiş ve endüstriyel dönüşümü beraberinde getirmiştir. Buhar makinesinin icadı, gemi, demiryolu ve tekstil gibi birçok sektörde önemli etkilere neden olmuştur. İş makineleri, kas gücüne olan bağımlılıktan kurtularak, el emeğinden endüstriyel üretime geçişin kapılarını aralamıştır. Suyun ve buharın gücüyle mekanik üretim süreci başlamış, bu durum öncesinde mümkün olmayan büyük ölçekli üretim imkanları sağlamıştır.

Bu devrim, sadece ekonomik değişimin yanında toplumsal yapıyı da kökten değiştirmiştir. Nüfus artışıyla birlikte, endüstrileşmeye paralel olarak yemek, giyim, iş ve ulaşım gibi temel ihtiyaçları karşılamak için altyapı yatırımları yapılmıştır. Ancak, bu dönemdeki kentleşme ve endüstri bölgelerine olan yoğun göç, beraberinde strüktürel fakirliği ve işçi sınıfının sömürsünü getirmiştir.

Bu dönemdeki hızlı değişim, zanaatkârlıktan fabrika işçisi-sahibine dönüşümü de hızlandırmıştır. Bu, toplumun temel dinamiklerinde önemli bir değişikliğe yol açmış ve endüstri devriminin etkileri uzun vadede hissedilmiştir (Derya, H. 2018).

2.1.2 Endüstri 1.0: İletişim ve Ulaşım Araçları

Deniz yolu taşımacılığındaki gelişmeler, Endüstri 1.0 Devrimi'nin başlamasında kritik bir rol oynamıştır. Özellikle İngiltere'de inşa edilen kanallar, altyapının olgunlaşmasıyla birlikte hammadde taşımacılığını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Bu süreçte demiryolu da önemli bir gelişim göstermiş, öncelikle Mısır'da piramitlerin yakınında benzer yapılarla karşılaşmış ve 18. yüzyılda madenlerde demiryolu kullanımı başlamıştır. Ancak, buharlı makinelerin icadı, demiryolu kullanımını hızla artırmıştır. Bu dönemde devlet destekli yapılan yatırımlar, demiryolu güvenliği ve bakımı açısından kritik bir rol üstlenmiştir. Aynı zamanda, telgraf sisteminin ortaya çıkışı, etkili ve hızlı iletişimin önünü açarak, demiryolu güzergahlarındaki bilgi akışını hızlandırmıştır. Mesafelerin kısalması ve bilginin hızlı

bir şekilde yer değiştirmesi, bu dönemin temel dinamiklerinden biri olmuştur (Deane, P. 2000).

Artan üretim, bölgeler arası ticareti ve etkileşimi artırmıştır. İletişim kanallarının çeşitlenmesi, düşünce akışlarını hızlandırmış, ancak bu aynı zamanda topluluklar arasında bölgesel farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Blgelleşen ticaret alanlarındaki artış, farklı kültürlerin etkileşimine ve birleşimine zemin hazırlamıştır. Bu süreçte, dilin ve anlayışın birleşmesiyle ulusal diller ortaya çıkmış, bu da milliyetçilik kavramının doğmasına neden olmuştur. Ayrıca, matbaanın yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan gazete ve dergiler, toplumda okuma alışkanlığı oluşturarak, ortak bir anlayışın gelişmesine katkıda bulunmuştur.

Bu dönemdeki nüfus artışı, ortak dil konuşan ve benzer hukuksal ve siyasal rejimlere tabi olan insanları bir araya getirmiştir. Bu birlik, ulus-devlet yapısının temelini atmış ve küresel ekonomik pastadan pay almak isteyen toplumların oluşumunu hızlandırmıştır. Bu evrim, tarih boyunca devam eden bir dönüşüm sürecinin ilk adımlarını oluşturmuş ve günümüzdeki uluslararası ilişkilerin temelini atmıştır (Kışlalı, A.T., 2010).

2.1.3 Endüstri 1.0: Üretim Süreçleri

1700'lerin başında, Avrupa lkeleri arasındaki ticaret ağı büyümeye ve genişlemeye başladı. Ancak bu genişlemenin karşılıklı ticaret için gerekli ürün miktarının yetersiz olduğu bir döneme tanıklık edildi. Bu durum, özellikle kırsal kesimde üretilen ürünlerin talebi karşılamakta zorlandığı bir dengesizliği ortaya koyuyordu. Köylülerin ürettiği mallar, tüccarlar tarafından alınarak şehirlere taşınıyordu. Ancak bu ürünlerin miktarındaki yetersizlik ve talebin yüksek olması, fiyatlarında bir artışa yol açtı. İngiltere'nin nc olduğu ihracatta, özellikle iplik ve tekstil ürünleri talep görmekteydi. Bu yüksek talep, kırsal kesimde üretilen iplik ve benzeri ürünlerin, daha sonra büyük tesislerde tüccarlar tarafından üretilmeye başlanmasına neden oldu. Bu süreç, basit makinelerin kullanımının artmasına öncülük etti (Arkan, . 2018).

Uçan mekikli dokuma tezghi gibi teknolojik gelişmeler, üretim sürecini kökten değiştirdi. Bu gelişmeler, dokunan kumaşın kalitesini artırdığı gibi daha fazla ürünün

daha kısa sürede elde edilmesine de olanak tanıdı. Bu da iplik talebinde bir artışa yol açtı. 1712'de icat edilen buhar pompası ve James Watt'ın buhar makinesinin geliştirilmesi, tekstil sektöründe büyük bir dönüşüme sebep oldu (Türkcan, E. 2009).

Tekstil sektöründeki buluşlar, üretim sürecini değiştirerek fabrika sistemine geçişin temelini attı. Mekanik teçhizatların yanı sıra, işçiler de makinelerin çalışmasına yardımcı olmaya başladılar. Fabrikalarda, insan emeği ile makinelerin birleşimiyle maliyetlerin düşmesi ve üretkenliğin artması hedeflendi (Çiçekler, A.N. 2010).

Endüstri 1.0 devrimi, üretimde kullanılan araçlardaki teknolojik ilerlemelerle birlikte yatırımları daha kârlı hale getirdi. Girişimciler, artan kârlarını hem yatırıma hem de teknolojik gelişmelere yönlendirdi. Yüksek talep, düşen fiyatlar ve büyüyen üretim hacmi, işgücü talebini artırdı; ancak aynı zamanda makinelerin emek tasarrufu sağlaması, işgücü arzında bir büyümeye neden oldu ve ücretler düştü. Ancak bu durumu fırsata çeviren girişimciler, yeni yatırımlarla kârlarını sürekli artırmayı başardılar (Başer, N.E. 2011).

Bu dönem, endüstriyel devrimle birlikte ekonomik, teknolojik ve toplumsal anlamda derin değişimlere sahne oldu. Yüksek talep, üretimdeki verimliliği artırmaya yönelik teknolojik yenilikleri tetikledi ve bu da günümüz endüstriyel peyzajının temellerini attı. Ancak bu süreç, işgücü talebindeki artış ve ücret düşüşleri gibi zorlukları da beraberinde getirdi.

2.2 Endüstri 2.0

2.2.1 Endüstri 2.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

İkinci endüstri devrimi, 1870'lerden II. Dünya Savaşı'na kadar olan dönemi kapsayan dönemdir. Bu dönem içinde, üretim aşamasında kullanılan hammadde ve enerji kaynaklarında radikal değişimler gerçekleşmiştir. Özellikle elektrik, petrol, demir, çelik ve kimyasal maddeler, üretim süreçlerine entegre edilmiş ve sanayiye şekillendirmiştir. Çelik, demiryolu gelişimi ve ulaşım ağının genişlemesinde kilit bir rol oynamıştır (Arkan, Ö. 2018).

Petrolün endüstriyel kullanımı, kömüre göre daha ekonomik ve üretimi daha kolay hale getirmesiyle dikkat çekmiştir. Bu durum, petrolle çalışan makinelerin yaygınlaşmasını tetikleyerek üretimdeki verimliliği artırmıştır. Ancak bu süreçte, petrolün fabrikalardaki belirli uygulamalarda yeterli verimi sağlayamaması, içten yanmalı motorun icadıyla aşılmıştır. Rudolf Diesel'in icat ettiği içten yanmalı motorlar, buhar gücüyle çalışan makinelerin yerini almış ve üretimde büyük bir dönüşüm başlatmıştır. Bu motorlar, daha az yer kapladıkları için fabrikalarda daha fazla motorun kullanılmasına olanak tanıyarak üretimi artırmıştır. Ayrıca, içten yanmalı motorlarla çalışan araçlar, yüksek hızları sayesinde ulaşım sürelerini kısaltmış ve maliyetleri azaltmıştır (Eroğlu, F. 2019).

Bu dönemdeki teknolojik yenilikler, endüstriyel süreçlerde ve ulaşımda önemli bir evrimi temsil ederken, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal değişimleri de beraberinden getirmiştir. Bu gelişmeler, üretimdeki artış ve ulaşımın iyileşmesi gibi etkileriyle sanayileşmenin ve modern dünyanın temellerini atmıştır. Bu devrim, daha önceki endüstri devriminin başlattığı değişimleri hızlandırmış ve dünyayı daha bağlantılı, hızlı ve üretken bir hale getirmiştir.

2.2.2 Endüstri 2.0: İletişim ve Ulaşım Araçları

Endüstri 2.0 devrimi, iletişim araçlarının evrimiyle birlikte insanlar arasındaki etkileşimi kökten değiştirdi. Radyo, televizyon ve telefon gibi teknolojik araçlar, dünyanın farklı coğrafyalarındaki insanlar arasındaki etkileşimi kolaylaştırarak küresel bir bağlantı ağı oluşturdu. Bu iletişim araçları, insanların bilgiye erişimini artırdı, kültürel alışverişi hızlandırdı ve dünya genelinde birbirleriyle daha yakın ilişkiler kurmalarına olanak sağladı.

Ulaşım aracı olarak demiryolu, İkinci Endüstri Devrimi sürecinde önemli bir evrim geçirerek daha verimli ve konforlu hale geldi. Ancak, İkinci Endüstri Devrimi, özellikle karayollarındaki gelişmelerle ulaşımda çığır açıcı değişikliklere de öncülük etti. Trenlerde ve otomobillerde, dizel ve elektrikli motorların kullanılması, enerji kullanımındaki dönüşümde önemli bir yeri sahip oldu.

Bu dönemdeki en çarpıcı gelişmelerden biri, karayollarının yoğun bir şekilde kullanılması oldu. Hava gazı ve petrol türevleriyle çalışan araçların geliştirilmesi,

buharlı makinelerle çalışan araçlara göre daha etkili bir ulaşım sağladı. Benzinli motorların icadı, yer değiştirme kabiliyetini artırarak insanların seyahat etme özgürlüğünü genişletti. Bu durum, keşiflerin ve toplumsal ilişkilerin daha dinamik bir hale gelmesine katkıda bulundu.

Ayrıca, bu dönemde at arabalarının yerini alan arabalar, toplum yapısında da değişikliklere neden oldu. Arabaların yaygınlaşması, şehirlerin büyümesine ve daha yoğun toplumsal etkileşimlere olanak tanıdı. İnsanlar, kolay yer değiştirmenin getirdiği özgürlük ile daha geniş coğrafyalarda yaşama ve çalışma imkanlarına sahip oldular.

Diğer yandan, at arabalarının yerini alan arabaların, temiz ve hızlı bir ulaşım yöntemi olması, toplum sağlığı üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Daha çevre dostu bir ulaşım aracı olarak arabalar, toplumların genel sağlığını olumlu bir şekilde etkileyerek yaşam kalitesini artırmıştır (Mokyr, J. 1990).

2.2.3 Endüstri 2.0: Üretim Süreçleri

İkinci endüstri devriminde, teknolojik ilerlemelerle birlikte hayatımıza giren bir dizi önemli icat, toplumları ve endüstriyi temelinden değiştirdi. Otomobil, telefon, gramofon, bisiklet ve elektrik ışığı gibi buluşlar, insanların günlük yaşamlarına hız ve konfor katan önemli araçlar oldu. Ancak, bu icatların arasında en devrim niteliğinde olanı elektriğin sanayide kullanılmasıydı. Elektrik, seri üretimin başlamasına olanak tanıyan taşıma bantlarının ilk örneğini Cincinnati mezbahalarında 1870 yılında gördüğümüz bir devrim yaratmıştır (Derya, H. 2018)

İkinci endüstri devrimindeki önemli bir dönüm noktası da Frederick W. Taylor'ın "Bilimsel Yönetimin İlkeleri" adlı kitabıdır. Taylor, çelik fabrikasında yaptığı gözlemlerle elde ettiği verileri kullanarak, kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasının, işletmelerin maksimum verimlilik sağlaması için kritik bir etken olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, "Taylorizm" olarak adlandırılan bir yönetim yaklaşımının doğmasına yol açmıştır (Barutçu, H.C. 2019).

Otomobilin icadında büyük rol oynayan Karl Benz, endüstri devrimine damgasını vuran bilim insanlarından biridir (Eroğlu, 2019: 13). Benz'in icadı, Henry

Ford'un katkılarıyla birlikte büyük kitlelere ulaşmış ve Fordist üretim modelini doğurmuştur. Ford, Taylor'ın ilkelerini benimseyerek, bir montaj bandı üzerinde seri üretimi hedefleyen bir üretim yöntemi geliştirmiştir. Bu, fabrikalarda üretim hacminin artmasını, maliyetlerin düşmesini ve verimlilikte önemli bir artışı beraberinde getirmiştir (Sedefçi, 2018: 7). Fordizm, üretim süreçlerini standartlaştırarak endüstriye yeni bir perspektif kazandırmıştır (Öztuna, B. 2017).

Henry Ford'un, hareketli bantları kullanarak Model T serisi otomobili üretmesi, emek verimliliğinde önemli bir artış sağlamıştır. Ancak, sürekli tekrarlanan işlemler ve disiplin nedeniyle işçilerde bıkkınlığa yol açmıştır. Bu duruma çözüm olarak, Ford, 1914 yılında çalışanlarına günde beş dolar ödeme yapmıştır. Bu gelişmeler, üretimde teknik yeniliklerle desteklenerek maliyetlerin düşmesine ve otomobil fiyatlarının daha da düşmesine olanak tanımıştır. Bu süreç, endüstrideki birçok sektöre ilham vermiş ve toplumsal değişimleri tetiklemiştir (Sercan, M.R. 2019).

İkinci endüstri devrimi, teknolojik ilerlemelerin yanı sıra, işletmelerin yönetimi ve üretim süreçlerindeki radikal değişikliklerle, toplumların sosyoekonomik yapılarında köklü dönüşümlere sebep olmuştur. Bu dönem hem tüketim alışkanlıklarını hem de iş yapma biçimlerini kalıcı olarak değiştirmiş ve modern endüstri çağının temelini atmıştır.

2.3 Endüstri 3.0

2.3.1 Endüstri 3.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından ortaya çıkan Üçüncü Endüstri Devrimi, Teknolojik Devrim olarak da adlandırılmıştır. Bu dönemin en belirgin özelliği, bilgisayarların, dijital ürünlerin ve internetin yaygın olarak kullanılmaya başlamasıdır. Aynı zamanda mikro-elektronik teknolojileri arasında atom enerjisi, çip, fiber optik gibi alanlarda da gelişmeler yaşanmıştır (Kagermann H., Wahlter, W., Helbig, J. 2013).

Endüstri 3.0 devriminin başlıca aktörleri bilgisayar ve internet olmuştur. İnternet, bilgisayarların birbirine bağlanmasına olanak sağlaması bakımından önemli bir ilerlemedir. Amerikan Savunma Bakanlığı, internetin geliştirilmesinde önemli bir

rol oynamıştır. 1969 yılında ARPANET adında bir ağ ile Amerika'daki farklı kurumların bilgisayar kullanıcılarının birbirleriyle iletişimi sağlanmıştır. Bu ağ, sadece Amerika'daki araştırma kurumlarının bilgisayarlarını değil, dünyanın çeşitli ülkelerindeki kurumların bilgisayarlarını da kapsayarak genişlemiştir (Bilgin, O. 2018).

2.3.2 Endüstri 3.0: İletişim ve Ulaşım Araçları

Endüstri 3.0 devriminin iletişimde temel bir dönüşüme yol açan unsuru, Soğuk Savaş sırasında Sovyetler Birliği'nin dünya yörüngesine uydu göndererek bir atılım yapması sonrasında ABD'nin 1957'de başlattığı ARPA projelerine dayanmaktadır (Curran, J., Fenton, N., Freedman, D. 2012).

İnternet teknolojisi, diğer birçok teknoloji gibi savunma sanayi tarafından ortaya çıkarılan ve topluma büyük kolaylık sağlayan bir buluştur. O dönemdeki ABD'li araştırmacıların, dünyanın farklı yerlerindeki esnek ve sık iletişim sorununu çözmek amacıyla başlattığı ARPA projesi, bilim insanlarının kazandığı bilgiyi bir araya getirme ve istendiğinde iş birliği yapabilmeye amacını taşımaktaydı. Bu projeye büyük önem verilmesinin nedeni, olası bir Sovyetler Birliği saldırısına karşı savaşın planlanması, iletişimin sağlanması ve savaşın yönetilmesinde kullanılabilecek stratejik bir teknoloji olmasıydı. Başlangıçta, bilgisayarlar arasında telefon altyapısı kullanarak konuşma denendi, ancak bu yöntem sadece iki bilgisayar arasında iletişimi mümkün kılabilirdi için yeni bir çözüm geliştirilme ihtiyacı doğdu (Kleinrock, L. 2010).

1969 yılında, bilgisayarlar arasında ilk mesaj iletimi gerçekleştirildi. İnternetin kullanımı başlangıçta sınırlı olsa da özellikle Soğuk Savaş'ın sona ermesiyle birlikte internet hızla yayıldı ve dünya çapında bir ağ haline gelerek tüm dünyayı birbirine bağlayan iletişim ağına dönüştü. Bu iletişimdeki dönüşüm, bilginin hızını artırdı ve küresel düzeyde gelişmeye katkı sağladı. 1870-1914 arasındaki birinci küreselleşme döneminden sonra, siyasi harita sınırlarının kalkması olarak tanımlanabilecek bu durum, insanlar arasındaki etkileşimin daha yoğun ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesine olanak tanıyarak ikinci bir küreselleşme dönemine yol açtı (Kleinrock, L. 2008).

2.3.3 Endüstri 3.0: Üretim Süreçleri

Üçüncü endüstri devriminin önemli bir ayağını oluşturan yalın üretim sistemi, kitle üretiminden sonra kendisini göstermiş bir değişimdir. Yalın üretim, israfın önüne geçmeyi hedefler ve bu sistem, tedarik zincirinden yönetim sürecine, çalışanların yaşamına kadar geniş bir yelpazede iş yapış biçimlerini kökten değiştirir. Stoksuz çalışma prensibi, işçilik ve malzeme maliyetlerinde önemli oranda düşüşe sebep olur. Bu dönüşümde öncü bir rol üstlenen Toyota, yalın üretim sistemini benimseyerek verimlilikte önemli bir artış elde etmiştir. Karşılaştırma yapacak olursak, Ford'un sürekli çalışan üretim hattı hata oranlarını artırmışken, Toyota bir hata tespit edildiğinde üretimi durdurarak sorunun çözülmesine odaklanmıştır. Bu yaklaşım, Toyota'nın General Motors gibi yalın üretim sistemini benimsemeyen firmalarla karşılaştırıldığında daha etkili bir verimlilik sağladığını göstermektedir. Örneğin, 1987 yılında General Motors'un stok tutma süresi iki hafta kadar bir süre almışken, Toyota'da sadece iki saatle sınırlıdır (Sarıkulak, 2018: 32-33).

Üçüncü endüstri devrimini tanımlayan en etkili teori olan Moore yasası, otomasyon hızının sürekli bir ilerleme içinde olduğunu belirtir. Gordon Moore'un mikroçiplerdeki transistör sayısının hızla artacağını ve maliyetlerin düşeceğini öngören bu yasa, bilişim dünyasında devrim niteliğinde bir değişime yol açmıştır. Intel'in ilk işlemcisi olan 4004 modelinde yalnızca 2300 transistör bulunurken, 2016'da üretilen 10-core i7 mikroişlemci modelinde bu sayı 3.2 milyara çıkmıştır. Bu inanılmaz büyüme, bilgisayarların hızlarını sürekli olarak artırarak dijital devrimi tetiklemiştir. Bilgisayarlar, telefonlar ve tabletler daha güçlü ve işlevsel hale gelmiştir.

Otomasyonun getirdiği avantajlar sadece tüketicilere ucuz ürünler sunmakla kalmamış, aynı zamanda üreticilere de gelişen donanımlar sayesinde işgücü maliyetlerinde düşüş sağlamıştır. Moore yasasının ekonomik etkilerini inceleyen çalışmalar, entegrasyonun artması ve maliyetlerdeki azalışın makinelerin çalışma hızında önemli bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Hafıza kartları aracılığıyla veri depolama kapasitesindeki artış, büyük makinelerin daha fazla veriyi depolamasına imkân tanımıştır. 1970'lerde bir çipteki veri miktarı kilobyte ile ölçülürken, günümüzde bu miktar gigabyte ile ifade edilmektedir. Mikroçiplerdeki geliştirmelerin ardından, 1975 yılında bir megabitlik bilginin depolanma maliyeti 5000 dolar iken,

1999 yılına gelindiğinde sadece 17 centtir. Bilişim sektöründeki bu gelişmelerle birlikte maliyetler düşerken, makinelerin boyutları küçülmüş ve hızları artmıştır (Kabaklarlı, E. 2016).

2.4 Endüstri 4.0

2.4.1 Endüstri 4.0: Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Endüstri 4.0, Alman hükümeti tarafından 2011 yılında Hannover Fuarı'nda tanıtılan bir kavramdır. Bu kavram, Endüstri 3.0 devriminin temelini oluşturan bilgisayar, internet ve diğer dijital teknolojilerin ilerlemesi sonucunda ortaya çıkmıştır (Banger, G. 2016).

Endüstri 4.0, imalat sanayisinde birçok yeniliğe öncülük etmektedir. Akıllı fabrikalarda bilgisayarlar, otonom kararlar alarak üretim süreçlerini yönetecektir. Bu yeni kavramı günümüz koşullarında uygulanabilir hale getirmek için siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti ve depolama sistemleri kullanılmaktadır.

Endüstri 4.0 aynı zamanda gömülü sistemlerin evrimini de işaret etmektedir. Bu sistemler, akıllı telefonlar, beyaz eşyalar ve otomobil ABS sistemleri gibi hayatımızın merkezinde yer almaktadır. Gömülü sistemlerin yerini zaman içinde siber-fiziksel sistemler alacaktır. Siber-fiziksel sistemler sayesinde akıllı fabrikalarda üretim süreçleri gerçek zamanlı olarak gerçekleşecek ve maliyeti kayda değer şekilde az olan ürünler üretilebilecektir (Kagermann H., Wahlter, W., Helbig, J. 2013).

World Economic Forum (WEF) Başkanı Klaus Schwab, Endüstri 4.0'ın belirgin özelliklerini üç başlık altında açıklamıştır: Hız, Genişlik ve Derinlik, ve Sistem Etkisi. Endüstri 4.0'ı diğer endüstri devrimlerinden farklı kılan özellik, teknolojik ilerlemelerin birbirini tetikleyerek entegre olması ve tüm alanlarda eş zamanlı olarak gelişmesidir. Bu, sadece bir endüstri dalını değil, tüm toplumu ve ekonomiyi etkileyen bir dönüşümü ifade etmektedir (Schwab, K. 2016).

2.4.2 Endüstri 4.0: İletişim ve Ulaşım Araçları

Dördüncü Endüstri Devrimi'nin etkisiyle gelişen mobil teknolojiler, tüketim modellerini dönüştürerek yeni sektörlere yol açmaktadır. Bu teknolojiler, iletişim ve nesnelerin interneti süreçleri sayesinde tüketim verilerini toplayarak ve işleyerek, bireylerin ihtiyaçlarına daha uygun çözümler sunmaktadır. Bu durum, refahın paylaşımını etkileyecek bir yaratıcı yıkım örneği sunmaktadır.

Mobil uygulamaların etkisiyle ticaret yapısı da dönüşmüştür. Büyük kurumsal şirketlerin sağladığı hizmetler, mobil uygulamalar aracılığıyla bireyler tarafından sağlanmaya başlanmıştır. Bu durum, mülkiyet hakkını temelden sarsmıştır.

İnternetle büyüyen nesiller, mülki haklar konusunda öncülleri gibi katı düşüncelere sahip olmadıkları bir ortamda büyümüşlerdir. Paylaşımın öne çıktığı günümüz dünyasında bilgi herkesin ortak malı olarak görülmekte ve sınırsız bir şekilde yayılmaktadır. Bu durum, bilgi güvenliğinin gelecekte en önemli konulardan biri olacağını ortaya çıkarmaktadır.

Ulaşım yönünden bakıldığında ise uzay taşımacılığının önümüzdeki yıllarda etkisini hissedilir bir şekilde arttıracığı öngörülmektedir. Uzay taşımacılığının gelişimi ile insanlığın temel ihtiyacı olan yayılcılık gerçekleşecektir. Bu durum, dünyanın eşsizliğini zedeleyebilecek ve toplumsal yaşayışı değiştirebilecek gelişmelere yol açacaktır.

Ancak insanlığın yeni yerlerin keşfi ile gelişimde yaşadığı artış göz önüne alındığında, yenilikleri anlayan ve uygulayabilenler gelecekte bugünkünden çok farklı yerlerde ve şartlarda yaşamlarına devam edeceklerdir. Özellikle son dönemde artırılmaya çalışılan uzay yolculukları, geleceğimize önemli bir etki yapacaktır.

Farklı gezegenlerde ve uydularda yapılan prototip yaşam alanları ve uzay istasyonları sayesinde insanlığın gelişimi yine yol sayesinde olacaktır. Ancak bu durum, gelişmiş ve gelişmemiş toplumlar arasındaki farkı kapatılamaz bir noktaya getireceği gibi, yüksek tahrip gücüne sahip silahların kullanımının kolaylaşması anlamına da gelecektir (Sarıkulak, Ö. 2018).

2.4.3 Endüstri 4.0: Üretim Süreçleri

Endüstri 4.0 terimi, Almanya tarafından öne sürülerek üretim süreçlerinin gelişmiş ülkelere kaymasının yol açtığı sorunların çözümünü amaçlamıştı. Üretim operasyonlarının gelişmemiş ülkelere taşınmasıyla maliyetlerin azaltılması, bu ülkelerin gerekli yatırımları yapması ve gelişmiş ülkelerin rekabet avantajı elde etmelerine sebep oldu. Günümüzde çoğu üretim faaliyetinin başka ülkelere taşınması ürün maliyetinin düşüşü açısından yeterli olmadığı düşünülmekle beraber fabrikaların başka ülkelere kurulmasının yüksek fırsat maliyetlerine neden olduğu ifade edilmektedir. Müşteri taleplerinin ürün iyileştirmesinden ziyade kişiselleştirmeye doğru kayması, yeni sistemlerin oluşturulmasını gerektirmektedir.

Endüstri 4.0 vizyonu, bir üretim felsefesi olarak siber-fiziksel sistemleri benimsemekte ve bunları fiziksel sistemlerle entegre ederek verilerin anlamlı bilgilere dönüştüğü, üretim esnekliğini ve etkinliğini artıran siber sistemlerin yönetimsel birimleri olarak tanımlamaktadır. (Ashton, T.S. 1948)

Kendi enerjisini üreten karanlık fabrikalar binalar, robotların kontrol ettiği üretim hatları, bu vizyonun başlangıç noktalarını oluşturur. Nesnelerin interneti, süreçler arasında iletişim kurma yeteneği ile daha bütünleşik, esnek ve verimli üretim süreçlerini öngörür. Müşteri veya ürün/hizmetle ilgili tüm bilgilerin daha erişilebilir hale gelmesi, büyük bilgi yığınlarını ortaya çıkarmıştır. Endüstri 4.0, bu bilgi yığınlarını gelişim için bir fırsat olarak gören ve bu bilgilerden maksimum faydayı sağlamayı amaçlayan bir süreci temsil etmektedir.

Büyük verilerin bulunduğu gelişim alanı, hizmet süreçlerini iyileştirmeyi ve müşteri için daha başarılı ve etkili tahminlerle üretim ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir. (Kander, A., Malanima, P., Warde, P. 2014)

3. ENDÜSTRİ 4.0

3.1 Endüstri 4.0: Önemi ve Kapsamı

2011 yılında Almanya'da gerçekleştirilen Hannover Fuarı'nda tanıtılan ve ardından Federal Almanya Hükümeti tarafından sanayi modernizasyonu olarak ilan edilen Endüstri 4.0 paradigması, gelecekte tüm sektörleri derinden etkileyecek önemli değişikliklere işaret ediyor. Bu dönüşüm, işgücü piyasasının yapısında köklü değişikliklere yol açacak ve insanlığın daha önce karşılaşmadığı kavramlar olan karanlık fabrikalar, nesnelerin interneti ve arttırılmış gerçeklik gibi teknolojik atılımları beraberinde getirecek (Vardar, S. 2016).

Endüstri 4.0'ın öngördüğü temel değişiklikler, üretim süreçlerinin tasarımından başlayarak, üretim aşamasına, işletmeye ve hizmete kadar tüm süreçlerde hızlı dönüşümleri ifade etmektedir. Bu, geleneksel üretim modellerinden daha esnek, talep odaklı ve öngörülebilir değişikliklere açık bir sistem anlamına gelmektedir (Davies, R. 2015).

Endüstri 4.0'ın ekonomik etkileri, üretim süreçlerinden emek piyasasına ve çalışma koşullarına kadar bir dizi alanda somut değişikliklere neden olmuştur. Üretimin kitlesel olmaktan çıkıp daha esnek ve talep merkezli bir yapıya kavuştuğu bu model, emek örgütlenmesinin esnek bir forma dönüştüğü, önceki Taylorist yaklaşımlardan farklı bir paradigmayı temsil etmektedir (Berger, G. 2016).

Bu gelişmeler, iş dünyasında ve ekonomideki dengelerde önemli bir değişimin habercisi olarak karşımıza çıkarken, Endüstri 4.0'ın sunduğu fırsatlarla birlikte gelecekteki iş modellerini şekillendirme ve uyum sağlama ihtiyacını da beraberinde getirecektir.

3.2 Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri

Almanya'da başlayan Dördüncü Endüstri Devrimi, Avrupa'nın en güçlü sanayi ülkelerinden birinde uygulandığı için kıta genelinde yaygın bir bilinirlik kazanmış ve küresel düzeyde tanınmıştır. Endüstri 4.0'ın günümüzde hızla yayılmasının temel amacı, bilgisayarlaşma sayesinde üretimde kendi kendini yönetebilen akıllı

fabrikaların ortaya çıkmasını sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak için "Nesnelerin İnterneti" ve "Siber-Fiziksel Sistemlerin" hayata geçirilmesi zorunludur.

Endüstri 4.0'ı tam anlamıyla kavrayabilmek için, sisteme ait temel terim ve kavramların anlaşılması gerekmektedir. Günümüzde bu temel bileşenlere ait uygulamaların kullanılmaya başlanması, Endüstri 4.0'ın gelecekteki gelişmeleri için önemli ipuçları taşımaktadır. Özellikle nesnelerin interneti ve üç boyutlu yazıcılar gibi hayatımızın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş teknolojiler, bu ilerlemelerin belirgin göstergeleridir (Kleinrock, L. 2010).

Bu gelişmeler, sanayi beraberinde iş dünyası ve toplum üzerinde de etkiler meydana getirmektedir. Akıllı üretim sistemleri, verimliliği artırma potansiyeli taşıırken, teknolojiyle entegre olan iş modelleri ve çalışma biçimleri değişime ayak uydurmak zorundadır. Tüm bu gelişmeler ışığında, Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikler, dönüşüm ve rekabet avantajları sağlayarak gelecekteki ekonomik dinamikleri şekillendirebilir.

3.2.1 Nesnelerin İnterneti

"IoT" olarak bilinen "Internet of Things" terimi, Türkçe'de "Nesnelerin İnterneti" olarak adlandırılan bir sistemdir ve gerçek dünyadaki nesnelerin sensörler aracılığıyla iletişim kurmasına olanak tanır (Banger, 2016: 186). 1991'de kahve makinesine yerleştirilen kameraların kullanımıyla başlayan bu kavram, Kevin Ashton'un 1999'da ortaya attığı Nesnelerin İnterneti konseptiyle daha da popüler hale gelmiştir (Türkoğlu, E. 2018).

Nesnelerin İnterneti, belirli bir durumun meydana gelmesiyle başlayan bir süreçtir. Sistem, bu duruma ilişkin verileri sensörler ve akıllı etiketler aracılığıyla alır ve belirlenmiş davranışları göstermek üzere makine ve ekipmanlara komutlar gönderir (13). Ancak, bu sadece bir nesnenin internete bağlanması değil; aynı zamanda cihazların birbirleriyle etkileşimde bulunduğu bir ekosistem oluşturması anlamına gelir (Ayar, E.E. 2015).

İşletmeler, IoT sistemini oluşturan ve kullanıcıya hizmet sunan önemli bir rol oynarlar. Ayrıca, yazılım ve donanım da sistemin temel bileşenleridir ve çeşitli yazılımlar, işletme ve endüstri ihtiyaçlarına uygun olarak yapılandırılabilir.

Nesnelerin İnterneti'nin evriminde etkili olan faktörler arasında akıllı enerji ve dijitalleşmenin hız kazanması önemli bir rol oynar. Bu, enerji kullanım paradigmasında büyük bir değişiklik ve endüstriyel süreçlerde dijitalleşme olarak adlandırılan kavramın ortaya çıkmasına neden olur. Bu dijitalleşme, süreçleri daha şeffaf hale getirir ve planlamayı kolaylaştırarak verimliliği artırır (Koçak, C. 2019).

Nesnelerin İnterneti, teknolojik gelişmelerin iş ve endüstri dünyasında nasıl köklü değişikliklere yol açtığını gösteren bir örnektir. Bu, sadece bağlı nesnelere değil, aynı zamanda verilerin entegrasyonu ve dijitalleşme ile birlikte iş süreçlerindeki evrimi de temsil eder. Bu evrim, işletmelerin rekabet avantajını sürdürmek ve geleceğe hazırlıklı olmak için teknolojiye uyum sağlamalarını gerektirir.

3.2.2 Büyük Veri ve Bulut Teknolojisi

"Büyük Veri" veya "Big Data" kavramı, belirli bir süre zarfında elde edilmiş, henüz düzenlenmemiş veya herhangi bir ananevi metot veya araçlar yardımıyla işlenmemiş verilerin bütününe ifade eder. Bu kapsamlı veri setleri, günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi ve internetin yaygınlaşması ile birlikte önemli bir konu haline gelmiştir. Bu veriler, telefon operatörleri, sosyal medya paylaşımları, online yazışmalar ve diğer platformlar aracılığıyla her gün büyük miktarlarda birikmektedir. Ancak, bu veri yığını içinde doğru bilgilerin yanı sıra yanıltıcı veya suç teşkil eden bilgiler de bulunabilir. Büyük Veri, bu veri karmaşasında doğru ve anlamlı bilgileri çıkarmak için kullanılan bir araç olarak önem kazanmıştır (Arkan, Ö. 2018).

Büyük Veri, genellikle dört aşamadan oluşur. İlk aşama, farklı kaynaklardan bilgilerin toplandığı aşamadır. İkinci aşama, bu toplama sürecini yürüten büyük şirketler, bankalar ve veri brokerları tarafından gerçekleştirilen derleme aşamasıdır. Üçüncü aşama, veri madenciliği ve analizidir; burada önceden toplanan verilerle veri setleri ve modeller oluşturularak gelecekteki benzer durumları tahmin etmek amaçlanır. Son aşama ise bu analizlerin sonuçlarına dayanarak firmaların yeni ürünler oluşturup piyasaya sürdüğü kullanım aşamasıdır (Türkoğlu, E. 2018).

Bulut bilişim ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri, Büyük Veri'nin işlenmesi ve depolanmasını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Bu teknolojiler, internet tabanlı altyapıları sayesinde verilerin hızlı bir şekilde iletilmesini ve depolanmasını sağlar. Özellikle, bulut bilişim, büyük donanım gerektiren hesaplamaları kolayca gerçekleştirebilir ve bilgilerin depolanması konusunda geniş bir alan sağlar. Nesnelerin İnterneti ise fiziksel objeler arasında veri paylaşımını ve iletişimini mümkün kılar. Bu teknolojiler, Büyük Veri'nin etkin bir şekilde kullanılabilmesine olanak tanır (Özdoğan, O. 2017).

Bulut bilişim, 1950'lerde temelleri atılan ve özellikle Amazon'un 2006'da oluşturduğu Amazon S3 ile hızla gelişen bir teknolojidir. Bu sistem, veri depolama alanlarının genişlemesine, verilerin daha hızlı iletilmesine ve cihazlardaki yazılım ve donanım ihtiyacının azalmasına olanak tanımıştır. Ancak, bu avantajlara rağmen, bulut bilişimin bazı zorlukları da vardır. Özellikle sürekli internet bağlantısı gerektirmesi ve güvenlik açıkları nedeniyle veri kaybı riski bulunmaktadır (Bulut, C. 2017).

Büyük Veri, günümüzdeki dijital çağın önemli bir faktörüdür. Fakat, bu büyük veri setlerini işlemek ve anlamlı bilgilere dönüştürmek için bulut bilişim ve Nesnelerin İnterneti gibi teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teknolojiler, verilerin hızlı bir şekilde depolanmasını, iletilmesini ve analiz edilmesini sağlayarak iş dünyasında daha verimli ve etkili kararlar alınmasına olanak tanır. Ancak, bu avantajların yanı sıra, sürekli internet bağlantısı ve güvenlik konularında dikkat edilmesi gereken zorluklar da bulunmaktadır.

3.2.3 Üç Boyutlu Yazıcılar

3D yazıcılar, diğer bir adıyla üç boyutlu yazıcılar, dijital dünyadaki üç boyutlu verileri fiziksel nesnelere dönüştürebilen oldukça etkileyici makinelerdir. Motorlar ve elektronik parçalar dışındaki hemen hemen tüm mekanik elemanları üretebilme yetenekleri, üç boyutlu yazıcıları çok yönlü ve kullanışlı kılar. Bu yazıcılar, farklı yöntem ve tekniklerle baskı işlemleri gerçekleştirebilirler. Temelde, 3D yazıcıların çalışma prensibi, bilgisayarlar aracılığıyla tasarlanan bir nesnenin sanal olarak tabakalara ayrılması ve her bir tabakanın eritilmiş malzemenin katman katman birleştirilerek fiziksel olarak basılmasıdır.

Üç boyutlu yazıcılar, adı geçen teknoloji olarak hala oldukça yenilikçi ve çağdaş kabul edilseler de, 1984 yılında ilk kez uygulanmış ve temelleri o dönemde atılmıştır. Ancak, bu teknoloji uzun bir süre boyunca özellikle hızlı modelleme alanında kullanılmış ve genel olarak dikkat çekmemiştir. Ancak, 2006'da başlatılan "Reprap Projesi" sayesinde üç boyutlu yazıcı teknolojisi geniş kitlelere ulaşmış ve potansiyelini göstermeye başlamıştır. Endüstriyel üretim açısından bakıldığında, bu yazıcılarla birlikte stoklama ihtiyacının ortadan kalkabileceğini düşünmek oldukça mantıklıdır. Çünkü üretilecek ürünle ilgili tüm bilgiler dijital ortamda saklanacak ve istenilen miktarda ürün, istenilen zaman diliminde kolayca üretilebilecektir. Bu durum, stok maliyeti oluşturan yedek parça kavramını ortadan kaldırarak bütçelerin daha etkili kullanılmasına ve verimliliğin artmasına olanak tanıyacaktır. Aynı zamanda, bu yaklaşım israfı azaltarak sürdürülebilirlik açısından da olumlu bir etki yaratacaktır (EBSO, 2015).

3.2.4 Siber Fiziksel Sistemler

Siber-fiziksel sistemler, bilgisayar teknolojilerinin fiziksel unsurlarla entegre edildiği ve disiplinler arası bir özellik taşıyan, aynı zamanda ciddi anlamda karmaşık olan sistemleri tanımlayan bir terimdir. Bu nedenle, siber-fiziksel sistemler, üretim süreçleri, lojistik süreçler ve diğer tedarik zinciri operasyonlarını en üst düzeyde koordine edip uyum sağlayarak gerçekleştirebilen sistemlerdir. İnsan gücü ve zekâsı ile hemen hemen imkânsız olan işlemleri anlık olarak gerçekleştirebilen bu sistemler, optimize edebilir ve yüksek performans seviyelerinde operasyonları yönetebilir. (Gunes V., Steffen P., Givargis T. and Vahid F. 2014)

Üretim ve lojistik süreçlerinde kullanılan siber fiziksel sistemler, makine ve ekipmanları ileri teknolojik unsurlarla donatarak, bunları akıllı hale getirebilme ve değişken durumlara özel çözümler yaratabilme yeteneğine sahip sistemlerdir. Basit bir ifadeyle, siber fiziksel sistemler, değişen koşullara uyum sağlayabilen, teknolojik unsurlarla güçlendirilmiş makine, ekipman vb. fiziksel unsurların akıllı sistemlere dönüşmesi olarak tanımlanabilir. Ulusal Bilim Kurumu (The National Science Foundation), siber-fiziksel sistemleri; "gözleme, koordinasyon ve kontrol gibi üretim süreçlerindeki temel prensiplerin, hesaplama ve iletişim bileşenlerinden oluşan karma teknoloji tarafından yönetildiği sistemlerdir. Bu karma teknoloji, fiziksel

makineleri siber teknoloji ile entegre ederek daha akıllı hale getirmektedir. Bu bağlamda, süreç bir bütün halinde siber-fiziksel sistemlerdir" şeklinde tanımlamaktadır (Lee E.A., Seshia S.A. 2011)

Günümüzde siber fiziksel sistemler, sadece endüstri alanında değil, aynı zamanda günlük yaşantımıza da entegre olmuş ve yaşamın her alanında kullanılmaktadır. Elektronik cihazlar, otomobiller, akıllı evler gibi birçok unsur, siber fiziksel sistemler çerçevesinde etkili bir şekilde çalışabilir. Örneğin, otomobilin klimasının sürücü uyanmadan önce çalışmaya başlaması veya sürüş sırasında camlara yağmur damlaları düşerse sileceklerin otomatik olarak çalışması gibi konforlar, siber fiziksel sistemlerin sağladığı avantajlara örnek olarak gösterilebilir (Görçün Ö.F. 2016)

Endüstriyel işletmeler, gelişmiş ürünler üretebilmek için gerekli olan tüm bilgilerin hızlı bir şekilde gömülü sistemler içinde aktarılabilmesi konusunda sorunlar yaşamaktadır. Bu durum, halihazırda birçok sistemin analitik ve akıllı sistemlere sahip olmadığı için büyük veriyi hızlıca sisteme transfer etme ve değerlendirme konusunda istenilen seviyede olmamasından kaynaklanmaktadır.

Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemlerin bulunduğu imalat ve diğer tüm tedarik zinciri unsurlarının inovasyonunu hedeflemektedir. Siber-fiziksel sistemlerde, bulut teknolojisi gibi popüler bilgi depolama ve iletişim teknolojilerinin, üretimde verimliliği, esnekliği ve kaliteyi artırmak için mevcut sistemlerle entegrasyonu, rekabet gücünün artırılmasını mümkün kılacaktır.

Dördüncü endüstri devrimiyle birlikte, daha fazla yazılım ve gelişmiş algoritmalar üretebilen gömülü sistemlere olan ihtiyaç giderek artacaktır. Kendi kendini yönetebilen, kararlar alabilen ve birbiriyle iletişim kurabilen sistemler, Endüstri 4.0 devriminin temelini oluşturmaktadır (Çelikaş M.S., Sonlu G., Özgel S., Atalay Y. 2015)

3.2.5 Arttırılmış Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik (AR), kamera veya görüntüleme cihazları aracılığıyla fiziksel dünyadaki görüntülerin yazılımsal olarak dijital ortamda üretilmiş görüntülerle birleştirilmesiyle ortaya çıkan bir teknolojidir. Bu sistemde, gerçek dünyadaki görüntülerle bütünlük oluşturacak şekilde dijital hesaplamalara dayanan görüntü veya simgeler bir araya getirilir. Sanal gerçekliğin içeriğini anlamak için, tamamen dijital ortamlarda oluşturulan ve gerçek dünya ile ilgisiz simgeleri içeren sanal gerçeklik kavramını bilmek önemlidir. Ancak, arttırılmış gerçeklik uygulamalarında, hem sanal simgeler hem de gerçek dünya görüntüleri bir arada bulunur ve bir bütünlük oluşturmak amacıyla birleştirilir. Bu görüntüler, metin, grafik, animasyon ve ses efektleri gibi çeşitli biçimlerde olabilir (Özarlan, Y. 2011)

Arttırılmış gerçeklik, bilgisayarlar aracılığıyla ses, grafik, video ve GPS verilerinin üretilip duygusal girdilerin eklenmesi ile gerçek dünyaya entegrasyonu sağlanan bir görünümü temsil eder. Bu teknoloji, bilgisayarlar tarafından yapılandırılan duygusal olarak etkileyici girdilerle zenginleştirilerek yeni bir gerçeklik oluşturur ve kullanıcının algısına sunar. Bu zenginleştirme işlemi, ortam çevresindeki öğelerle etkileşim halinde olan gerçek anlı bir süreçtir. Ayrıca, arttırılmış gerçeklik sayesinde kullanıcı, gerçeklik ortamının oluşmasını sağlayan öğelerle iletişim halindedir. Örneğin, arttırılmış gerçeklik kullanılarak sanal katılımcılarla toplantılar düzenlenebilir ve farklı ortamlarda bulunan bireyler aynı ortamdaymış gibi etkileşimde bulunabilir (Kahraman, H. 2016).

Arttırılmış gerçekliğin ilk örnekleri, askeri alanda görülebilir; örneğin, savaş pilotlarının kasklarında bulunan göz hizasındaki saydam ekranlar, uçuş verilerini anlık olarak gösterir. Bu teknoloji, eğitimden pazarlamaya, sanattan güvenliğe kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Büyük şirketler, üretim ve montaj hatlarını geliştirmek için arttırılmış gerçeklikten faydalanmaktadır. Bu sayede, geniş ölçekli ve karmaşık makinelerin bakımı daha kolay hale gelir, sorunların kaynağı daha hızlı tespit edilir ve maliyetler düşer. Örneğin, Boeing, BMW ve Volkswagen gibi firmalar, üretim süreçlerinde arttırılmış gerçeklik kullanarak verimliliklerini arttırmaktadır.

Pazarlama alanında, arttırılmış gerçeklik uygulamalarının kullanımıyla ürünlerin satışı ve yeni ürünlerin tanıtımı büyük avantaj sağlamaktadır. Örneğin,

Smartis uygulaması sayesinde kişiler, mağazadaki bir ürünü dışarı çıkmasına gerek kalmaksızın evlerinden el hareketleriyle inceleyebilirler. Audi firması, Quattro modelini tanıtırken artırılmış gerçekliği kullanarak kullanıcının bayiye gitmeye gerek kalmadan bu modeli sanal olarak inceleyebilmesini sağlamıştır. Ayrıca, L'Oréal Paris kozmetik firması, Makeup Genius adlı artırılmış gerçeklik uygulaması ile müşterilere sanal makyaj uygulayarak ürünlerini tanıtmıştır (İçten, T., Bal, G. 2017).

3.2.6 Akıllı Robotlar

Robot teknolojisinin endüstriyel alanda kullanımı, üçüncü endüstri devriminin başlangıcında önemli bir evrim geçirmiştir. İlk başta sınırlı alanlarda faaliyet gösteren robotlar, zamanla 2010 yılından itibaren endüstri, tarım ve hasta bakımı gibi çeşitli sektörlerde yaygın bir şekilde kullanımına başlanmıştır. Bu kullanımın genişlemesinde internet, bulut bilişim ve yapay zekâ ile entegre edilmiş olmaları önemli bir etken olmuştur. Bu unsurlar sayesinde robotlar, sadece yazılımlarının izin verdiği sınırlar içinde değil, aynı zamanda veri alışverişi yaparak diğer robotlarla sürekli iletişim kurabilme kabiliyetine de sahip olmuşlardır. Özellikle dördüncü endüstri devrimi ile birlikte, robotlar sınırsız veriye ulaşma ve bulut bilişime entegre edilen verilerle kendilerine yeni yetenekler ekleyebilme kapasitesine erişmişlerdir (Bilgin, O. 2018).

Günümüzde robotlar, bilgisayarlar tarafından programlanabilen ve karmaşık görevleri otomatik olarak yerine getirebilen makineler olarak karşımıza çıkıyor. Operatör aracılığıyla çalışan makinelerin yanı sıra, operatör müdahalesi sınırlı olan otonom robotlar da insan müdahalesine ihtiyaç duymadan çeşitli görevleri yerine getirebiliyorlar. Bu otonom robotlar, çevresel değişikliklere hızla uyum sağlayabiliyorlar ve bu özellikleriyle endüstrinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmişlerdir (Çalış Duman, M. 2020).

Otonom robotların temel özelliklerinden biri görebilme yetenekleri. Bu yetenek sayesinde robotlar çevrelerindeki nesnelere algılayabilir ve bu bilgileri kullanarak kararlar alabilirler. Düşünebilme yetenekleri sayesinde ise robotlar, algıladıkları sorunlar karşısında çözüm üretebilirler. Son olarak, harekete geçme yetenekleri de robotların düşündükten sonra fiili olarak bir eyleme geçmelerini sağlar. Bu üç temel özellik, bir robotun otonom olarak adlandırılabilmesi için gereklidir (Tuğlu, M.E. 2017).

Otonom robotların endüstriyel alanda kullanılması, insan kaynaklı hataların önlenmesine ve üretimde standardizasyonun sağlanmasına büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca, otonom robotların akıllı hale gelmesi, karmaşık işlerin hatasız bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. Örnek olarak, Boston Dynamics firmasının Atlas robotu ve Rethink Robotics firmasının Baxter robotu, otonom robotların başarılı örneklerindedir. Baxter, bir işi bir kez gösterildiğinde tekrarına gerek duymadan uygulayabilen bir el kol koordinasyonuna sahip olarak öne çıkmaktadır. Bu tür robotlar, gelecekte endüstriyel süreçlerde ve günlük yaşamımızda daha fazla görev üstlenebilirler (Bilgin, O. 2018).

3.2.7 Yatay ve Dikey Entegrasyon

Yatay entegrasyon, benzer müşteri profilleri sergileyen farklı şirketlerin birleşmesi olarak tanımlanır. Benzer müşteri profillerine sahip şirketler, pazar paylarını genişletmek için birleşme stratejisini benimserler. Bu birliktelik, hem şirketlerin güçlerini birleştirme hem de müşteri tabanlarını genişleterek rekabet avantajı sağlama amacını taşır. Yeni kurulan şirketler ise henüz belirgin bir müşteri profiline sahip olmadıkları için, piyasada hemen varlık göstermek için birleşmeyi tercih edebilirler. Ayrıca, şirketler yatay entegrasyonu benimseyerek belirsizlikleri azaltabilir, AR-GE faaliyetlerine hız kazandırabilir ve riskli yatırımları birlikte yaparak piyasadaki konumlarını güçlendirebilirler. Bu birleşmelerin sonucunda şirketlerin rekabet gücü artar, çünkü ortak bir strateji ve müşteri tabanı oluşturarak daha etkili bir pazarlama ve üretim sürecine geçiş yaparlar (Bayrak, A. 2018).

Firmalar, Endüstri 4.0'ın getirdiği rekabetçi ortamda, olası risklere karşı kendilerini koruma altına almak ve daha etkin bir yönetim için yatay entegrasyonu kullanabilirler. Endüstri 4.0, tedarik zincirinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Nesnelerin interneti ve siber fiziksel sistemlerin kullanılması, üretim süreçlerini hızlandırmış ve güvenilirliği artırmıştır. Yatay entegrasyon aynı zamanda işletmelere maliyet avantajı sağlar. Örneğin, sosyal medya devi Facebook'un, sosyal medya platformu Instagram'ı satın alarak pazar payını artırması, yatay entegrasyonun rekabet avantajını somut bir şekilde göstermektedir. Bu nitelikte bir birleşme, Instagram üzerinden paylaşılan içeriklerin otomatik olarak Facebook'ta da görünür olmasını sağlamıştır (Barutçu, H.C. 2019).

Dikey entegrasyon, aynı pazarın farklı alt sektörlerinde faaliyet gösteren firmaların birleşmesini ifade eder ve üç farklı tipe ayrılır. Firmanın hammadde, yarı-mamul sağladığı şirketle birleşmesi Geriye Doğru Dikey Entegrasyon'u temsil eder. Örneğin, bir market zincirinin taze sebze ihtiyacını karşılaması üzere çiftlik satın alması. İleriye Doğru Dikey Entegrasyon, bir firmanın ürünlerini son tüketiciye ulaştıran birimlerle birleşmesi olarak adlandırılır. Örnek olarak, firmanın ürünlerinin dağıtımını kolaylaştırmak için bir nakliye firması satın alabilir. Geriye ve İleriye Doğru Dikey entegrasyonun birleşmesi ise Dengeli Entegrasyon olarak adlandırılır ve bu hem hammadde tedariği hem de pazarlama alanında birleşmeyi içerir.

Yatay ve dikey entegrasyon, üretim aşamalarındaki değişikliklere ve sorunlara hızlı çözümler üretilmesine olanak tanır. Bunun yanında, kişiye özel üretim daha kolay hale gelir ve maksimum kaynak verimliliği sağlanabilir. İşletmeler, yatay ve dikey entegrasyonun sağladığı güçle oldukça esnek bir yapıya dönüşebilirler. Bu, değişen pazar koşullarına hızla adapte olabilmelerini ve rekabet avantajlarını sürdürebilmelerini sağlar (Garbie, İ. 2016).

3.2.8 Siber Güvenlik

Dördüncü endüstri devrimi, dijitalleşme temelindeki yenilikleri barındırarak elektronik haberleşme, nesnelerin interneti, veri transferleri ve bulut teknolojisi gibi önemli değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Bu dijitalleşme aynı zamanda siber güvenlik tehditlerini de beraberinde getirmiştir. Bilgi hırsızlığı ve endüstri casusluğu gibi riskler, dijital korsanlar için yeni fırsatlar oluşturmuştur. Dolayısıyla, dördüncü endüstri devrimi ile birlikte kuruluşlar siber saldırı risklerini ve etkilerini arttıracaklarını öngörerek bu tehditlere karşı önlemler almaya çalışmaktadır.

Endüstri 4.0 devriminin sürecinde gerekli güvenlik önlemleri alınmazsa, siber saldırıların potansiyel yıkıcı sonuçlarıyla karşılaşmak mümkündür. İşletmelerin dijitalleşmiş süreçlerini çökertecek virüsler, veri paylaşımı, bulut kullanımı ve akıllı imalat sistemlerini hedef alabilir, bu da şirketlerin üretim faaliyetlerini olumsuz etkileyebilir. Ancak büyük firmalar, siber saldırı risklerini üst düzeyde yönetim ve güvenlik stratejileri ile etkisiz hale getirilebileceğini ifade etmektedir.

Uzaktan erişim, bulut kullanımı, sanal ortamlar gibi dijital olanaklardan tam anlamıyla faydalanabilmek için, tüm dijital ortamların güvenliğinin en üst düzeyde olması gerekmektedir. Bu dijitalleşmiş süreçlerin güvenliği, şirketlerin stratejik bilgileri ve birçok firmanın birleşik verileri açısından büyük öneme sahiptir. Üretim süreçlerinde güvenli iletişim ve güvenli etkileşim, üretim optimizasyonunun temelini oluşturur. Tüm dünyada yürütülen süreçlerin temelinde ise veri ve bilgi aktarımı bulunmaktadır. Bu nedenle, sistemlere iletilen verilerin güvenli bir şekilde saklanması kritik bir öneme sahiptir. Yani, dördüncü endüstri devrimi, siber güvenlik ortamlarının kurulması ve siber güvenlikten maksimum fayda sağlanması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Endüstri 4.0, siber güvenliğin geliştirilmesine ve sürekli olarak iyileştirilmesine yönelik bir süreçtir. Bu süreçte, bilgi güvenliğini tehdit edebilecek güvenlik açıklarının başında, eski donanımlı ve yeni donanımlı cihazlar arasındaki bağlantılar gelmektedir. Bu bağlantılar, bütün üretim sürecini riske atabilir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 kapsamında verilerin yalnızca yetkililere açık olması, verilerin kaynak ve bütünlük doğrulamalarının yapılması önemlidir. Bir imalat alanında, değerli bilgilere sadece yetkilendirilmiş personellerin erişebilmesi, cihazlara giriş yapılırken kullanılan bilgilerin doğrulanmış ve güvenilir kaynaklardan alınması gibi tedbirler, sistem güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu sayede işletmeler, elde ettikleri bilgi birikimlerini ve verilerini uzun yıllar boyunca koruyabilirler. (Şimşek T., Kent E., Çınar H., Bayramusta M., Baycan C., Sivas G., Güngören U., Akbaş S., Özlü O., Özer T., Bayrak M., Özkaya Ö. 2015)

4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TÜRKİYE

4.1 Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, günümüzde azalan enerji kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanarak enerji kayıplarını minimize etmeyi hedefleyen önemli bir konudur. Bu, atıkların geri kazanılması ve ürün kalitesinden ödün vermeden enerji kullanımını azaltmayı hedefler.

Enerji verimliliğinin temel hedefi, sınırlı enerji kaynaklarını en az düzeyde kullanmaktır. Bu anlayışa göre, enerji verimliliği tasarruf edilen enerji ile bu tasarrufa katkıda bulunan harcamalar arasında bir denge kurar. Bu bağlamda, enerji verimliliğini etkileyen olumsuzlukların giderilmesi ve enerji verimliliğini artırmak için geliştirme yöntemleri ve ileri teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. (Hepbaşlı, A. 2010)

Endüstriyel işletmelerde yapılan enerji etüt çalışmaları, çoğu işletmede enerji tasarrufu potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, yatırımsız veya düşük maliyetli uygulamaların kullanılmasıyla bile enerji tasarrufunun mümkün olduğunu ortaya koymaktadır (Ünlü, O. 2009).

İşletmeler, enerji etüt çalışmalarını artırarak ve enerji tasarrufu potansiyeline sahip uygulamaları hayata geçirerek enerjiyi daha etkili bir şekilde kullanabilirler. Ayrıca, enerji verimliliği konusunda çalışanların bilinçlendirilmesi ve bu çabaların sürdürülebilirliği, uzun vadede çevresel ve ekonomik faydalar sağlayacaktır. Bu nedenle, enerji verimliliği, sadece işletmelerin maliyet tasarrufu yapmasına değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı elde etmelerine de katkı sağlayabilir.

4.2 Türkiye’de Enerji Verimliliği

Ülkemizde enerji verimliliği, diğer ülkelerle kıyaslandığında daha düşük bir seviyede bulunmaktadır. Ancak, gelişen teknolojilerin eski sistemlere entegre edilmesi ve enerji verimliliği odaklı çalışmalar, bu alandaki performansı artırabilir. Enerji

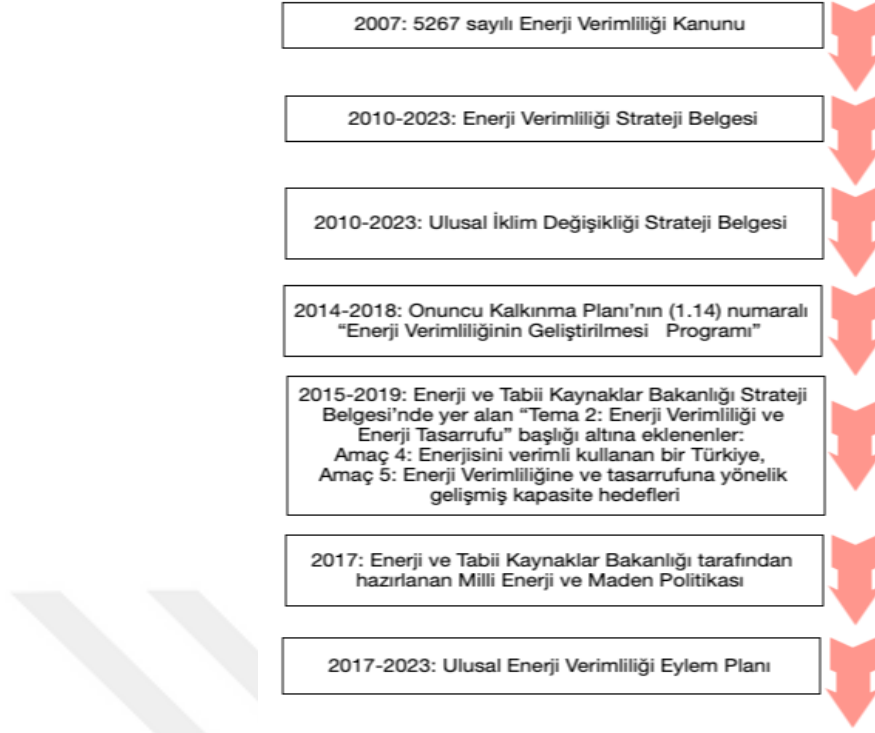
verimliliği çalışmalarının, enerji maliyetlerini azaltarak ülke ekonomisine katkıda bulunacağı ve sektörel rekabet gücünü güçlendireceği düşünülmektedir.

Ülkemizde enerji verimliliğiyle ilgili atılan ilk adımlar, 19.9.1972 ve 3.11.1972 tarihli Resmî Gazetelerde yayınlanan iki yönetmelikle atılmıştır. Ancak bu yönetmeliklerde yeterli bağlayıcılık olmaması, istenilen verimlilik düzeyine ulaşmayı engellemiştir. (Özel, C. 2010)

Ülkemiz, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (2004) ve Kyoto Protokolü'ne (2009) taraf olarak enerji verimliliği konusunda stratejik adımlar atmıştır.

Enerji verimliliği, ülkemizin 7. ve 8. Beş Yıllık Kalkınma Planları'nda da önemli bir konu olarak ele alınmıştır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı, enerji yoğunluğunu azaltarak, verimliliği artırarak ve tasarruf programları uygulayarak enerji kaynaklarını daha etkin kullanma hedefini belirtmiştir. (Gökınar, V. 2012)

8. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda ise kişi başına enerji tüketimi yerine birim enerji ile en fazla üretimi ve refahı yaratma amacının öne çıktığı bir perspektife vurgu yapılmıştır. Bu planlar, enerji verimliliğinin geliştirilmesi adına çeşitli çalışmaların yapılmasını amaçlamaktadır. Enerji verimliliği, sadece ekonomik anlamda değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve ulusal rekabet açısından da önemli bir unsurdur.



Şekil 4.1. Enerji Verimliliği Kanunu Gelişimi

2007 yılında yürürlüğe giren 5267 numaralı Enerji Verimliliği Kanunu, Şekil 4.1.'de görülen gelişmelere önemli bir ivme kazandırmıştır. Bu kanun, enerji kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve enerji verimliliğinin artırılması amacını taşımaktadır, aynı zamanda uygulamayanlara ciddi cezai yaptırımlar öngörmektedir. (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007)

2010 ve 2023 yıllarını içeren Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi ile Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, ülkemizin enerji verimliliği hedeflerini belirleyen önemli dokümanlardır. Bu strateji belgeleri, enerji verimliliğinin yaygınlaşması ve ülkemizin bu alandaki hedeflere ulaşabilmesi için gerekli çalışmaları içermektedir.

Ülkemizin 2014 ve 2018 yılları arasındaki 10. Kalkınma Planı'nda, enerji verimliliği konusundaki yasal düzenlemeler, planlar ve stratejik hedefler arasında öne çıkan bir girişim olarak yer almıştır. (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012)

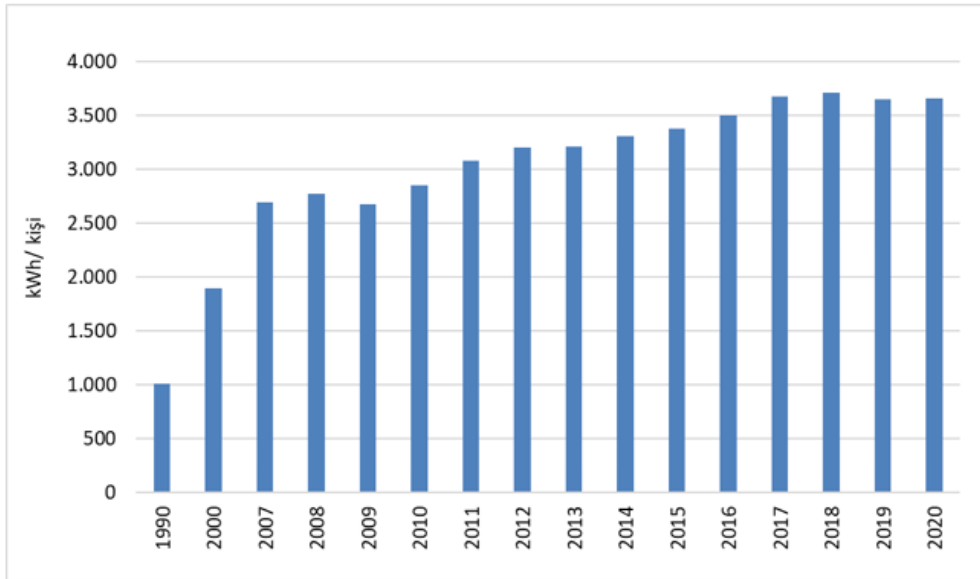
2015-2019 Stratejik Belge, Türkiye'nin enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik hedeflerini güçlendirmeyi amaçlamıştır. Bu belge, ülkemizin enerjiyi daha

etkin ve verimli kullanarak gelecekteki enerji ihtiyaçlarına hazır olma çabalarını yansıtmaktadır.

2017 ve 2023 yıllarını kapsayan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, enerji tasarrufu sağlama hedefiyle önemli bir adım atmıştır. Bu plan, 2023'e kadar büyük bir enerji tasarrufu elde etmeyi ve birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalmayı planlamaktadır. Ayrıca, 2033 yılına kadar enerji tasarruf miktarının 30,2 milyar dolara ulaşması hedeflenmektedir. Bu strateji belgesi, enerji verimliliği konusunda ülkemizin gelecekteki güçlü performansını desteklemektedir. (Coşkun, M. 2019)

4.3 Türkiye’de Enerji Tüketimi

Gelişen endüstrimiz ve artan nüfusumuzla birlikte enerji tüketimimiz, yıllar içinde sürekli bir artış trendi gösteriyor, bu durumu Şekil 4.2.'de net bir şekilde görebiliyoruz. Ülkemizin küresel rekabet arenasında güçlü bir konumda kalabilmesi için enerji tüketimine özen göstermesi ve mevcut enerji programlarını daha etkili bir şekilde sürdürmesi gerekiyor. Özellikle son yıllarda enerji tüketimindeki %14'lük artış, geçmiş yıllara kıyasla daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmış durumda ve bu durum enerji yönetimi açısından oldukça dikkat çekicidir.



Şekil 4.2. Kişi Başı Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh/kişi)

Kaynak: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

Gelişmekte olan bir ülkeler arasında bulunan Türkiye, enerji tüketiminde artış eğilimindedir. Yıllık enerji tüketimi, dünya ortalamasının üzerinde bir oranda artıyor ve bu durum, ülkemizin enerji talebinin hızla yükseldiğini gösteriyor. (Değirmenci, A.İ. 2010)

Son yıllarda enerji verimliliği, ülkemizde çeşitli etkinlikler ve projelerle desteklenmiş, bunun yanı sıra bazı yasal düzenlemelerle güçlendirilmiştir. Gelişmekte olan ülkemizin kısıtlı enerji kaynakları, artan nüfus ve sanayi ile birlikte enerji talebinin hızla büyümesi, enerji verimliliği konusunu daha da önemli hale getirmektedir. (Engin, P. 2018, Kavak, K. 2005)

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, alüminyum üretimi toplam maliyet içindeki yüksek oranı dikkat çekicidir. Bu sektörlerde enerji verimliliği uygulanması, birim maliyetlerde belirgin düşüşleri getirebilir ve bu durum, ülkemizin alüminyum sektöründe rekabet gücünü artırabilir. (Coşkun, M. 2019)

Şekil 4.3. Sektörel Bazlı Enerji Tüketim Miktar ve Oranları

Kaynak: Coşkun, M. 2019

Sektörel Bazlı Enerji Tüketim Miktar ve Oranları

Endüstri	Enerji Tüketim Miktarı (%)	Toplam Maliyette Enerji Oranı (%)
Demir Çelik	34,9	11,5-48
Demir Olmayan Metaller	2,3	6,2-47,5
Seramik	4,5	32,5
Çimento	19,7	55
Cam	1,7	22-42
Kağıt ve Selüloz	3,4	9-30
Tekstil	5,9	8-10
Petrokimya	4,6	28,5
Ana Kimyasallar	2,2	24
Suni Gübre	5,2	40
Petrol Rafineleri	2,9	4
Boya	0,05	1,6
İlaç	0,12	1,5
Sabun, Temizlik	0,3	2,1
LPG	0,24	1
Orman Ürünleri	0,52	6
Metal Mobilyalar	0,3	4
Un Sanayi	0,06	4
Çay	0,52	3,5
Şeker	2,99	8,5
Yağ	0,99	3,7-6
Sebze ve Meyve Endüstrisi	0,47	6,44
Tütün Sanayi	0,77	0,7-6
Diğerleri	4	-
Toplam	100	

4.4 Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği

Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği, önemli bir harcama merkezi olarak kabul edilen enerjinin yüksek verimde tüketilmesi ve enerji tüketimlerinin azaltılması amacıyla 1970'li yıllardan itibaren ana iş süreçlerinden biri olarak kabul edilmeye başlanmıştır. Bu durum, özellikle enerji tüketimi yüksek olan büyük sanayi tesislerinde daha da önemli bir sorun olarak ele alınmaktadır.

Endüstriyel tesislerde, enerji verimliliği üç farklı temel yaklaşım ile geliştirilmektedir. Bunlardan sırasıyla; Yönetim Sistemleri Yolu ile Enerji Verimliliği, Teknolojik Çalışma ve Yatırım Yolu ile Enerji Verimliliği, Enerji Politikaları ve Yasal Düzenlemeler Yolu ile Enerji Verimliliği şeklindedir. (Değirmen, M. 2015)

4.4.1 Endüstriyel İşletmelerde Enerji Yönetim Sistemi

Enerji yönetimi, günümüzde işletmeler için önemli bir stratejik unsurdur. Bu strateji, enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla bir dizi faaliyeti içerir. Bu faaliyetler arasında eğitim, etüt, ölçüm, izleme, planlama ve uygulama bulunmaktadır (5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, 2007). Aynı zamanda, enerji yönetim sistemi, işletmenin enerji politikasını ve belirlenen hedeflere ulaşmak için birbiriyle ilişkili olan veya etkileşimde bulunan öğelerin bir bütünüdür. Bu yapı, enerji politikasını belirleme sürecini ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanan prosedürleri içerir (TSE, 2005).

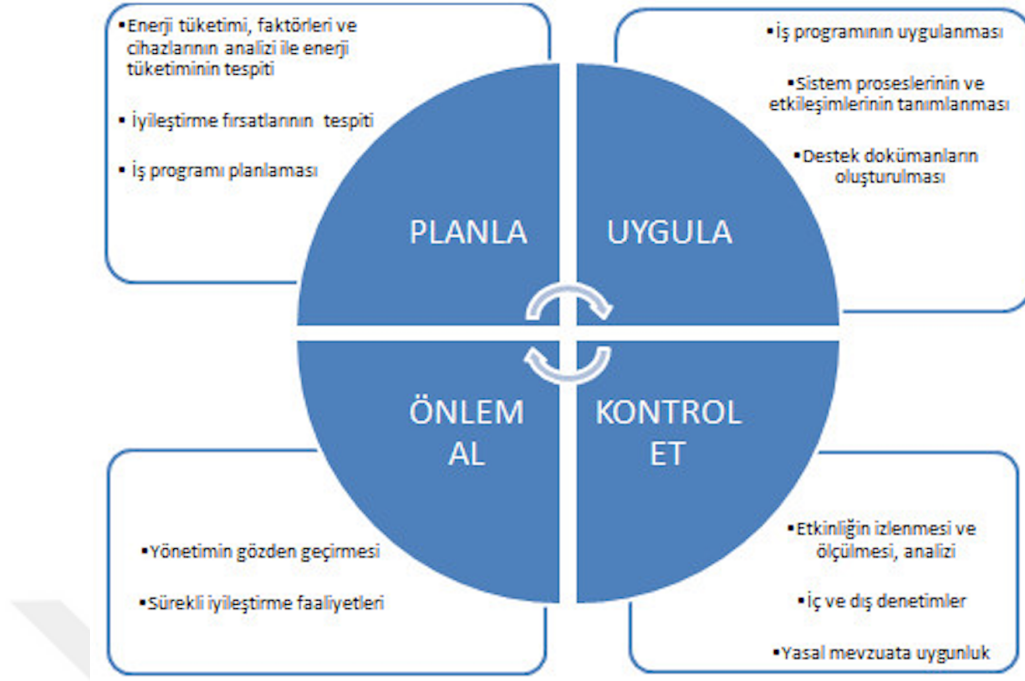
İşletmelerde enerji yönetimi sistemini uygulamak, planlı ve stratejik bir çaba gerektirir. Bu çabanın temelinde enerji tasarruflarına odaklanan bir strateji geliştirme yer almalıdır. Endüstriyel işletmeler, sürekli iyileştirmeler yapmak için belirli alanlarda ve süreçlerde çaba göstermelidir. Bu süreç içinde, işletmede kullanılan ekipmanlar ve üretim prosesinin teknik bilgilerine hâkim olunmalı, verimsizlikleri belirlemek için detaylı bir analiz yapılmalıdır. Teknoloji ve ekipman verimliliği güncel tutularak, enerji verimliliğini artırmaya yönelik projeler üretilmeli ve yatırım dönüş hızları hesaplanmalıdır. Ayrıca, enerji verimliliği süreci sürekli olarak değerlendirilerek güncel tutulmalıdır.

Bu stratejik yaklaşım, sadece enerji maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve işletme performansını artırma açısından da önemli avantajlar sağlar. İşletmelerin bu alanda gösterdikleri çabalar, sadece kendi rekabet avantajlarını artırmakla kalmaz, aynı zamanda genel enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur.

Enerji yönetimi, endüstriyel işletmeler için başarıyla uygulanabilmesi için birtakım şartları içermektedir. Öncelikle, firmanın üst yönetimi enerji yönetimine taahhüt etmelidir, yani bu konuda kararlı bir duruş sergilemelidir. Bu, enerji yönetim sistemi ve programın başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi için temel bir önkoşuldur. Ayrıca, enerji yönetim sistemi içinde belirlenen hedeflerin net bir şekilde tanımlanmış olması gerekmektedir. Organizasyon şemasının detaylı bir şekilde tanımlandığı ve sorumlulukların belirlendiği bir yapı oluşturulmalıdır. İhtiyaç duyulan kaynakların sağlanabilir olması da enerji yönetiminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için önemli bir faktördür. Enerji verimliliği ile ilgili ölçme ve izleme mekanizmalarının kurulmuş olması da bu sürecin başarıya ulaşmasında etkili olacaktır. Son olarak, ilerlemelerin belirli periyotlarda gözden geçirilmesi, enerji yönetiminin sürekli bir gelişim içinde olmasını sağlayacaktır (CIPEC, 2003).

Enerji yönetimi programlarının tasarımında, etkili bir yönetim sisteminin prensip ve süreçlerine başvurulması gerekmektedir. Dr. W. Edwards Deming'in ortaya koyduğu dört adımlı süreç, her türlü kuruluş için geçerlidir. Bu süreçler, planla, uygula, kontrol et, düzelt döngüsü içinde sürekli bir gelişimi içermektedir. Ancak, enerji verimliliği iyileştirme programları, her kuruluşun kendine özgü ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak farklı yaklaşımları içermelidir. Bu nedenle, enerji yönetim sistemi gelişimi ve uygulama pratiği, çeşitli özel durumları kapsayacak şekilde esnek bir yapıya sahip olmalıdır (CIPEC, 2002).

Sürekli gelişim içinde planla, uygula, kontrol et, düzelt döngüsü, her bir adımın birbirini takip ettiği ve birbirine bağlı olduğu bir süreci ifade etmektedir. Şekil 4.4'te sunulan enerji yönetimi yaklaşım planı, bu döngünün temel prensiplerini açıkça göstermektedir.



Şekil 4.4. PUKÖ Döngüsü

Kaynak: Enerji Gazetesi

4.5 Enerji Yönetimi ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi

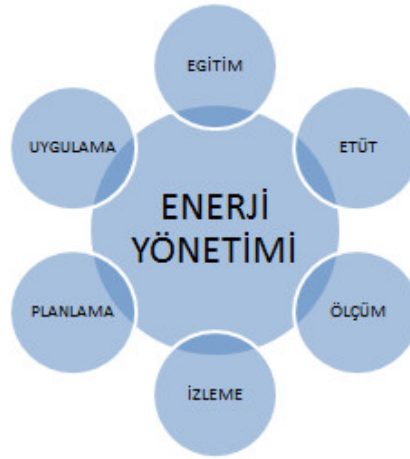
4.5.1 Enerji Yönetimi

Enerji yönetimi, günümüzde işletmeler için kritik bir konu olarak öne çıkmaktadır. Bu kavram, enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak için gerekli olan temel stratejileri içermektedir. Enerji yönetimi, eğitim, enerji etütleri, ölçüm ve izleme sistemleri, planlama ve iyileştirme çalışmalarını kapsayan çeşitli faaliyetleri içerir. Bu disiplinli çalışma, enerjinin ve kaynaklarının optimum bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla organize edilmektedir. Yapılan projeler ve iyileştirme çalışmaları sonucunda, enerji verimliliğinde %5 ile %15 arasında artış sağlanabildiği belirlenmiştir. (Kıyılmaz, B. 2019)

Enerji verimliliği, sadece enerji maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda enerji talebinin küresel düzeydeki etkilerini de içermektedir. Bu küresel ihtiyaç, enerji birim maliyetlerini, emisyon hedeflerini ve mevzuatı etkilemektedir. Bu

nedenle, işletmeler enerji tasarrufu yapmak zorunda kalabilir. Özellikle endüstriyel işletmeler, enerji tüketimini azaltmaya odaklanarak bu soruna çözüm bulma yolunda projelere odaklanmaktadır. Enerji verimliliğini artırmak için enerji yönetim sistemleri, teknolojik uygulamalar ve enerji politikaları gibi konulara odaklanmak gerekmektedir (Uzun, A., Değirmen M. 2018)

Enerji yönetimi, talep edilen enerjinin etkili bir şekilde karşılanabilmesini sağlar. Bu, endüstriyel tesislerde enerjinin kullanıldığı alanlarda enerji tüketimini azaltmak ve enerji maliyetini optimize etmekle mümkündür. Şekil 4.5'te görülen enerji yönetimi aşamaları, bu sürecin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 4.5. Enerji Yönetimi Aşamaları

Kaynak: Enerji Gazetesi

Enerji yönetimi, aynı zamanda bir işletmenin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına da katkıda bulunur. Yönetilebilir enerji, işletmeye gelecekteki enerji tüketim projeksiyonlarına göre aksiyon alma yeteneği kazandırır. Bu, enerji fiyatlarının artması ve enerji arz kıtlığı gibi risklere karşı daha hazırlıklı olunmasını sağlar. (Sarıkulak, Ö. 2018)

4.5.2 ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS)

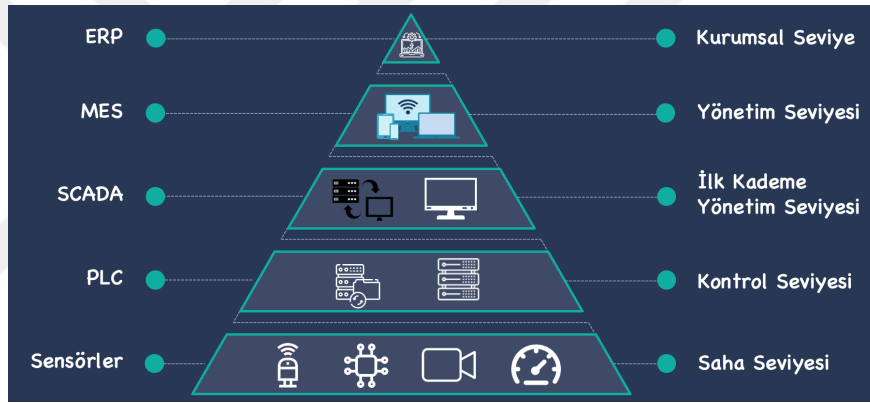
Enerji yönetim sistemi standardı, günümüz işletmeleri için enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak adına rehberlik eden ve geliştirmeler sağlayan önemli bir araçtır. Bu standart, işletmelerin enerji tüketimini optimize etmelerine ve etkili bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur. Sistematik bir enerji yönetimi kurmak, enerji tüketimlerinde ve dolayısıyla enerji maliyetlerinde azalmaya olanak tanır. Aynı zamanda, karbon emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur. Enerji yönetim sistemi standardı, işletmelerin belirlenen enerji politikası şartlarına uygunluğunu sağlar ve enerji politikalarını uygulayarak işletmelerin bu politikalara bağlı kalmasını mümkün kılar. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, Planla, Uygula, Kontrol Et, ve Önlem Al-Düzeltil (PUKÖ) adı verilen bir döngüyü kullanmaktadır. Bu döngü, işletmelerin belirledikleri enerji politikalarına uygun olarak hedefleri ve prosesleri oluşturmasını, enerji yönetimi faaliyetlerini yürütmesini, politika ve hedeflerin izlenmesi ve ölçülmesini içerir. Ayrıca, sistemin etkinliğini sürekli olarak kontrol altında tutarak iyileştirme faaliyetlerinde bulunmayı da içerir.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) standardı, günümüz işletmeleri için enerji yönetimini standartlaştırmak ve iyileştirme hedefiyle kullanılan bir sistemdir. Bu standart, işletmelerin enerji verimliliği ve performansını artırarak çevresel etkilere karşı mücadele etmelerine ve enerji maliyetlerini düşürmelerine olanak tanır. Enerji, gün geçtikçe daha kıymetli hale gelirken ve kaynaklar azalırken, TS EN ISO 50001 EnYS, her türlü işletme için uygulanabilir ve enerjiyi daha etkili kullanmayı destekleyen bir yönetim sistemidir. EnYS, işletmelerin enerji politikalarını belirlemelerine ve koydukları enerji hedeflerine ulaşabilmek için enerji tüketimini daha sistemli bir şekilde yönetmelerine odaklanır. Bu, sürekli kontrol altında tutulan enerji performansı ile etkin ve yüksek enerji verimliliğini sağlamayı amaçlar. Bu standart, işletmelerin sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmalarını ve enerji kaynaklarını daha akılcı bir şekilde kullanmalarını destekler. (Uzun, E. 2021)

5. ENDÜSTRİ 4.0 VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE BAKIŞ: ALÜMİNYUM ERGİTME FABRİKASINDAN ELDE EDİLEN VERİLERLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

5.1 Endüstriyel İşletmelerde Otomasyon Piramidi

Endüstriyel otomasyon piramidi, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi, bir üretim tesisinde bulunan otomasyon sistemlerini hiyerarşik bir şekilde gösteren bir modeldir. Piramidin tabanı, tesisin fiziksel süreçlerini kontrol eden saha seviyesindeki cihazlardır. Piramidin tepesinde, tesisin genel performansını izlemek ve kontrol etmek için kullanılan yönetim seviyesi sistemleri bulunur.



Şekil 5.1. Endüstriyel Otomasyon Piramidi

5.1.1 Seviye 0: Saha Seviyesi

Saha seviyesi, makineleri, ekipmanları ve süreçleri kontrol eden sensörler, aktüatörler ve kontrolörlerden oluşur. Sensörler, çevreden verileri toplar ve aktüatörler, bu verilere göre makineleri ve ekipmanları kontrol eder. Kontrolörler, sensörlerden gelen verileri işler ve aktüatörlere göndermek üzere komutlar oluşturur.

Saha seviyesi otomasyon sistemleri, genellikle aşağıdakileri içeren çeşitli bileşenlerden oluşur:

- Sensörler: çevreden verileri toplar

- Aktüatörler: makineleri ve ekipmanları kontrol eder
- Kontrolörler: sensörlerden gelen verileri işler ve aktüatörlere komutlar gönderir

Saha seviyesi otomasyon sistemleri, endüstriyel işletmelerin verimliliğini ve üretkenliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, makinelerin ve ekipmanların daha verimli çalışmasını sağlamaya, hataları azaltmaya ve üretim kalitesini iyileştirmeye yardımcı olur.

5.1.2 Seviye 1: Kontrol Seviyesi

Programlanabilir Mantık Kontrolörleri (PLC), endüstriyel otomasyon piramidinin orta seviyesinde bulunan etkili kontrol cihazlarıdır. Bu cihazlar, üretim süreçlerini yönetmek, izlemek ve optimize etmek amacıyla kullanılan programlanabilir mantık kontrol sistemleridir. Bu sistemler, endüstriyel otomasyonun temel taşlarından biri olarak önemli bir rol oynamaktadır.

PLC'ler, karmaşık mantık kontrollerini gerçekleştirme kapasitesi sayesinde, endüstride çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle makine ve ekipman kontrolü, proses kontrolü, güvenlik kontrolleri, veri toplama ve analiz gibi alanlarda etkin bir şekilde işlev görmektedirler.

Bu kontrol cihazları, endüstriyel otomasyonun evriminde bir dönüm noktasıdır. Üretim süreçlerinin daha verimli, güvenli ve tutarlı hale getirilmesine olanak tanımaktadırlar. PLC'ler, otomasyonun gelişimiyle birlikte endüstriyel tesislerin daha akıllı, esnek ve rekabetçi hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sürekli teknolojik ilerlemelerle birlikte PLC'lerin yetenekleri sürekli olarak artmakta ve endüstriyel otomasyonun geleceğinde önemli bir rol oynamaya devam etmektedirler.

5.1.3 Seviye 2: İlk Kademe Yönetim Seviyesi

Endüstriyel otomasyon piramidinin üçüncü katmanında konumlanan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemleri, endüstriyel süreçlerin izlenmesi ve kontrol edilmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, sahadaki çeşitli cihazlardan sürekli olarak veri toplar ve bu verileri merkezi bir noktada

toplayarak endüstriyel tesislerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu noktada, SCADA sistemlerinin endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar gibi çağdaş endüstri trendlerine uyum sağlayan temel bir bileşen olduğunu belirtmek önemlidir.

SCADA sistemleri, yazılım ve donanım olmak üzere iki ana bileşen üzerine kurulmuştur. SCADA yazılımı, veri toplama, analiz, alarm yönetimi ve raporlama gibi işlevleri sağlayarak endüstriyel süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesini mümkün kılar. Öte yandan, SCADA donanımı, bu yazılımı çalıştırarak veri toplama ve iletim süreçlerini gerçekleştirir. Bu iki bileşen arasındaki uyum, SCADA sistemlerinin sağlam, güvenilir ve hızlı bir şekilde çalışmasını sağlar.

SCADA sistemlerinin işlevselliği, sahadaki cihazlardan veri toplama, veri analizi, alarm yönetimi ve raporlama gibi temel unsurlar üzerine odaklanır. Sahadaki cihazlardan veri toplama sayesinde, endüstriyel süreçlerin anlık durumu takip edilebilir ve gerektiğinde müdahalede bulunulabilir. Veri analizi, toplanan verilerin derinlemesine incelenmesini sağlar ve bu da süreçlerdeki potansiyel sorunların önceden tespit edilmesine imkân tanır. Alarm yönetimi, anormal durumların hızlı bir şekilde belirlenmesini ve bu durumların operatörlere iletilmesini sağlar, bu da iş güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Raporlama ise, süreç performansının düzenli olarak izlenmesini ve gerektiğinde iyileştirmelerin yapılmasını sağlar.

SCADA sistemleri endüstriyel otomasyonun vazgeçilmez bir parçasıdır ve günümüz endüstriyel peyzajında önemli bir yer tutmaktadır. Sahadan merkezi bir kontrol noktasına kadar uzanan bu sistemler, verimliliği artırmanın yanı sıra maliyetleri düşürme ve iş güvenliği sağlama konusunda önemli avantajlar sunar. Bu nedenle, endüstriyel süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve optimize edilmesi açısından SCADA sistemlerine olan talep, giderek artan bir trend göstermektedir.

5.1.4 Seviye 3: Yönetim Seviyesi

Endüstriyel otomasyon piramidinin yönetim seviyesinde bulunan Üretim Yürütme Sistemi (Manufacturing Execution System - MES), üretim süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmek ve operasyonel performansı optimize etmek için çeşitli önemli işlevler sunar.

MES'in endüstriyel otomasyon bağlamında sağladığı temel işlevler şunlardır:

1. Üretim Planlama ve Yönetim:

- i) Kaynak Tahsisi ve Kontrol: Ekipman, işgücü ve diğer kaynakların otomatik tahsisi ve kontrolü.
- ii) Üretim Sevkiyatı: Otomatikleştirilmiş üretim akışının yönetilmesi ve ekipmanlara uygun şekilde gönderilmesi.

2. Veri Yönetimi:

- i) Veri Toplama ve Birleştirme: Otomatik sensörler ve sistemler aracılığıyla üretim verilerinin toplanması ve bütünleştirilmesi.
- ii) Kalite Yönetimi: Otomatik kalite kontrol sistemleri aracılığıyla üretim kalitesinin izlenmesi ve düzenlenmesi.

3. İş Süreçleri ve Performans İyileştirmesi:

- i) Süreç Yönetimi: Otomatik süreç izleme ve düzeltme mekanizmaları ile operasyonel süreçlerin optimize edilmesi.
- ii) Üretim Takibi: Otomatik üretim durumu izleme ve işin tamamlanma aşamalarının yönetimi.

4. Kaynak Yönetimi:

- i) İşlemler ve Ayrıntılı Zamanlama: Üretim işlemlerinin programlanması ve belirlenen zamanlamalara göre otomatik işlenmesi.
- ii) Belge Kontrolü: Üretimle ilgili belgelerin otomatik kontrolü ve düzenlenmesi.

5. Altyapı Yönetimi:

- i) İşgücü Yönetimi: Personel verimliliğini artırmak için otomatik izleme ve raporlama.
- ii) Bakım Yönetimi: Otomatik bakım takibi ve ekipmanların durumunun sürekli izlenmesi.

iii) Malzemelerin Taşınması, Depolanması ve Takibi: Otomatik malzeme yönetimi ve transfer süreçlerinin otomatik izlenmesi.

MES'in bu kapsamlı işlevleri, üretim tesislerinin otomatikleşmiş ve optimize edilmiş bir ortamda çalışmalarına olanak tanır. Bu da üretim maliyetlerinde, enerji tüketiminde ve çevrim süresinde önemli düşüslere yol açabilir, endüstriyel otomasyonun sağladığı rekabet avantajını artırabilir.

MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association), 1993 ve 1996 yıllarında farklı sektörlerdeki üyeleriyle gerçekleştirdiği iki anket analizi ile imalat ve finans yöneticilerine MES'in gerçek faydaları hakkında anlamlı veriler sunmayı amaçlamıştır. Bu analizlerin sonuçlarına göre, MES kullanımının üretim döngüsü süresini %40, veri giriş süresini %55, devam eden iş miktarını %25, teslim süresini %27, ürün kusurlarını %19 ve ortalama vardiyalar arasındaki evrak miktarını %56 azaltabileceği ortaya çıkmıştır. MES kullanan tesisler, MES kullanmayanlara göre üretim maliyetinde %34, enerji tüketiminde %57 ve çevrim süresinde %37 daha fazla azalma yaşamışlardır. (Parlak, R. O. 2022)

5.1.5 Seviye 4: Kurumsal Seviye

Kuruluşlar, günümüzde karmaşık ve dinamik iş ortamlarında rekabet avantajı elde etmek, verimliliklerini artırmak ve süreçlerini optimize etmek için çeşitli yöntemler uygulamaktadır. Bu bağlamda, Kurumsal Kaynak Planlama (Enterprise Resource Planning - ERP) yazılımları, işletmelerin çeşitli iş süreçlerini entegre etme ve etkin bir şekilde yönetme amacını taşıyan kapsamlı yazılım sistemleri olarak öne çıkmaktadır.

ERP sistemleri, bir işletmenin finans, insan kaynakları, üretim, tedarik zinciri yönetimi, satış ve pazarlama gibi farklı alanlardaki iş süreçlerini bütünleştirerek birbirleriyle etkileşimini sağlayan modüler bir yapıya sahiptir. Bu entegrasyon, işletmelerin departmanlar arasında bilgi paylaşımını artırır ve süreçlerin tutarlılığını sağlar. Finans yönetimi, insan kaynakları yönetimi, üretim ve tedarik zinciri yönetimi gibi temel modüller, iş süreçlerinin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar.

ERP sistemlerinin işletme düzeyindeki etkileri, aşağıdaki avantajlarla ilişkilidir:

- Finans yönetimi: Muhasebe süreçlerini optimize ederek mali durumu izleme, fatura oluşturma ve ödeme süreçlerini düzenleme imkânı sunar.
- İnsan kaynakları yönetimi: Personel bilgilerini etkili bir biçimde yönetir ve işe alım süreçlerini hızlandırır.
- Üretim ve tedarik zinciri yönetimi: Operasyonel süreçlerin daha verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesini sağlar.

ERP yazılımları, kuruluşların günümüz dinamik iş ortamlarında rekabet avantajı elde etmelerine olanak tanıyan önemli araçlardan biridir. Modüler yapısı ve entegrasyon yetenekleri, iş süreçlerini bütünleştirerek verimliliği artırır ve karar alıcılarına daha sağlam bir temel sunar.

5.2 Endüstriyel İşletme Bilgileri

5.2.1 İşletme Genel Bilgileri

İstanbul'da kurulan ve faaliyetlerine kalıp imalatı alanıyla başlayan işletme, ilerleyen yıllarda döküm sektöründe de yer almaya başlamıştır. Artan taleplerin karşılanabilmesi adına fabrika binasını büyüten işletme, 2006 yılından itibaren metal enjeksiyon sektörünün tüm gereksinimlerini karşılayabilecek alt yapıyla entegre tesisine haline gelmiştir. Tüm ana sanayinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek ileri düzey mühendislik imkân ve kabiliyetleri bulunan kuruluşta; otomotiv, enerji, aydınlatma ve inşaat gibi birçok farklı sektöre hizmet sağlamaktadır.

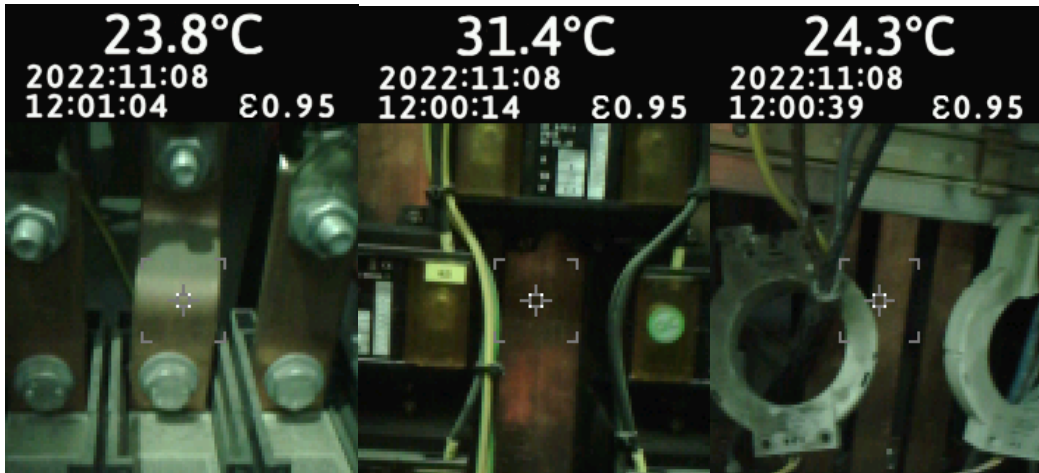
2021 yılı itibariyle mevcutta kullandığı Kurumsal Kaynak Planlama (ERP – Enterprise Resource Planning) yazılımına ek olarak Üretim Yürütme Sistemi (MES – Manufacturing Execution System) ile; 18 adet metal enjeksiyon tezgah, 18 adet kalıp ısıtıcı, 8 adet elektrikli bekletme ocağı, 1 adet ısıtma ünitesi, 3 adet kompresör olmak üzere toplam 48 noktadan elektrik verisi ve 5 adet ana ergitme fırını, 3 adet ön ısıtma ünitesi, 10 adet doğalgaz bekletme ocağı olmak üzere toplam 18 noktadan doğalgaz verisi toplamaya başlamıştır.

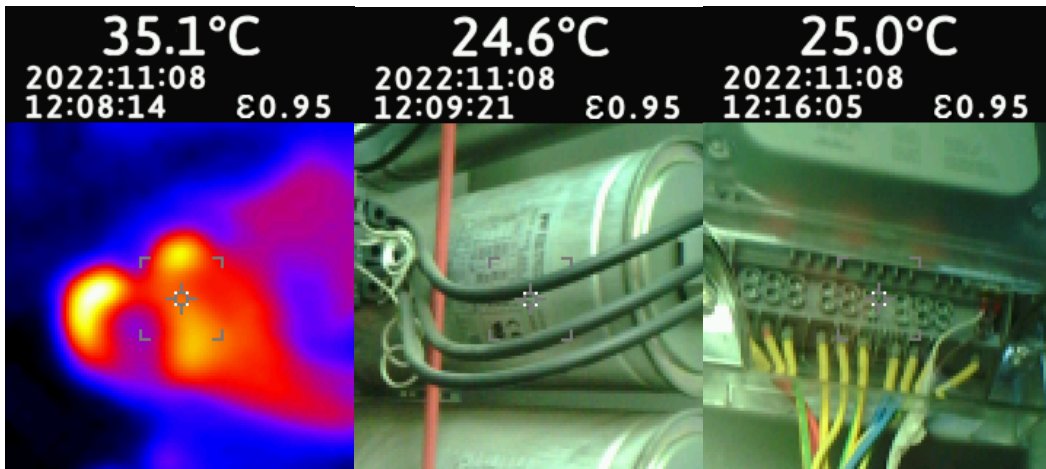
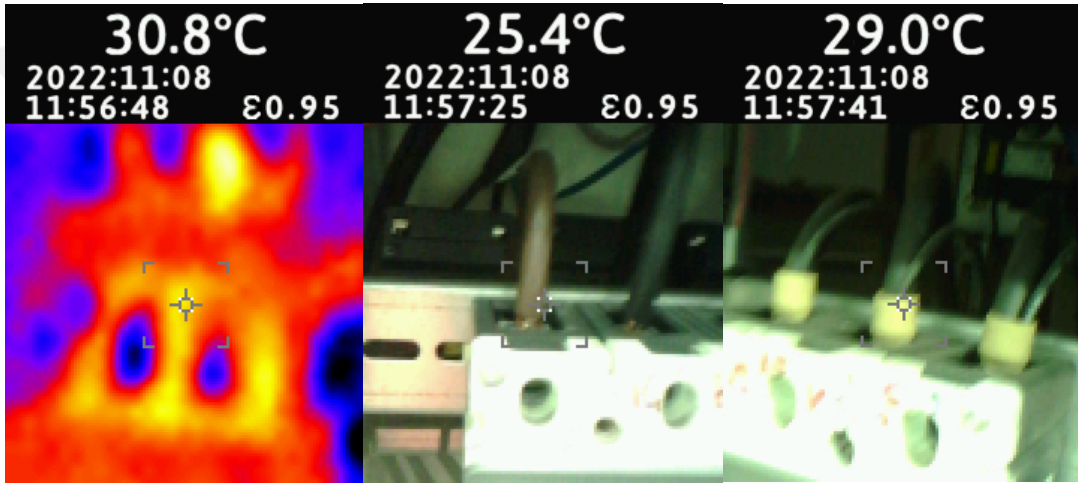
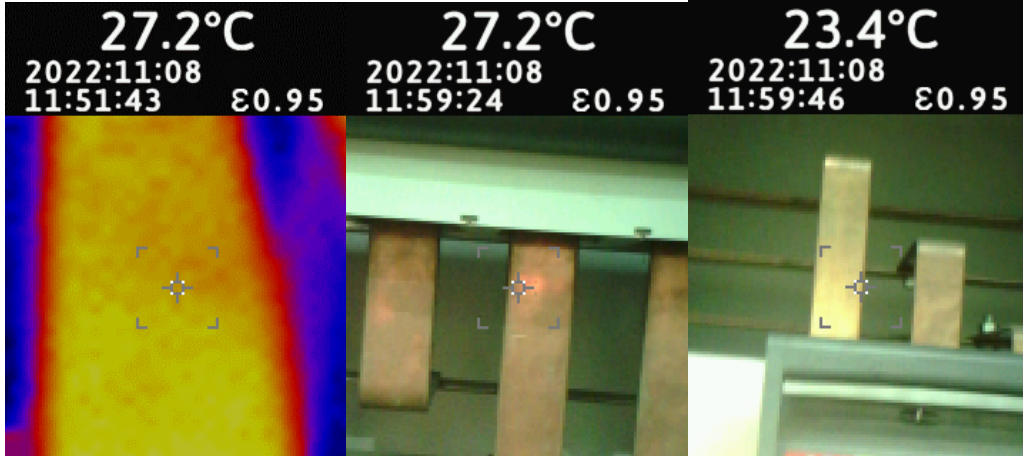
Numaralandırılmış proses adımları aşağıdaki gibidir:

1. Hammadde Depolama
2. Ergitme, Gaz Alma
3. Al Enjeksiyon
4. Çapak Kesme
5. CNC İşleme (Gerekli parçalarda)
6. Vibrasyon ile Çapak Alma ve Yıkama ile Kurulama
7. Son Kontrol
8. Sevkiyat

5.2.3 İşletmede Muhtelif Panolarda Sıcaklık Ölçümleri

Fabrika dışı trafo binası ve fabrika içi elektrik panolarının incelemesinde çoğunlukla yenilenmiş yapılarla karşılaşılmıştır. Seçilen bara ve kablo kesitlerinin fabrikanın ileride muhtemel bir kapasite artırımına dönük olarak tesis edildiği görülmüştür. Pano içlerinde aşırı akım ya da aşırı ısınmadan dolayı istenmeyen bir zayıf ya da kayıp/kaçak güç tespit edilmemiştir. Pano içi sıcaklıkların 20-30 derece aralığında olduğu, bara ve kablo sıcaklıklarının 35 dereceyi geçmediği görülmüştür. Bu durum kuruluşun üretimde enerjinin verimli kullanılması noktasında attığı önemli adımlar arasında değerlendirilmektedir.





Şekil 5.3. Muhtelif Panolarda Sıcaklık Ölçümleri

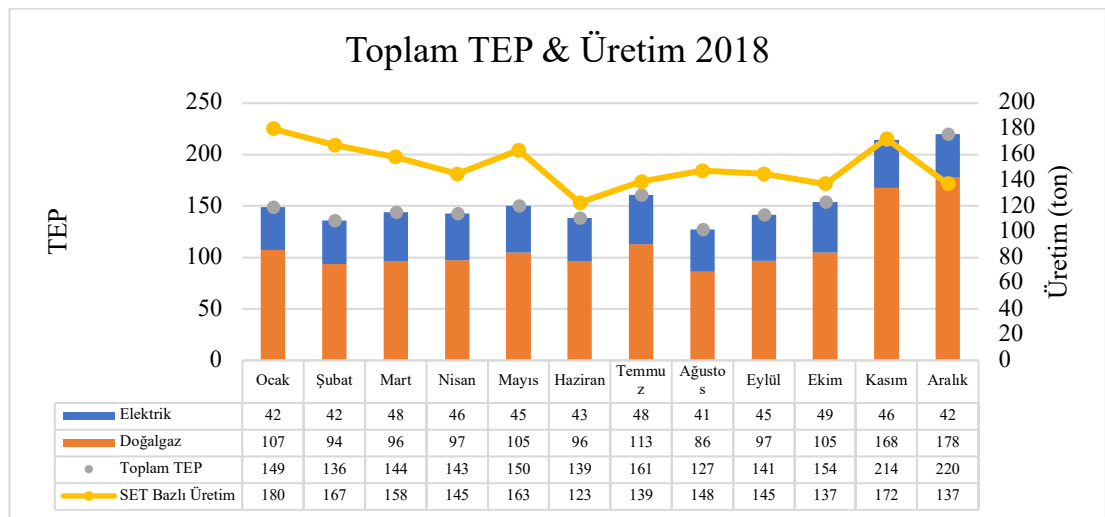
5.3 Endüstriyel İşletme Veri Analizi

Araştırmada işletmeye ait son 5 yılın (2018-2022 yılları) enerji tüketim ve üretim değerleri analiz edilmiştir. Üretim olarak toplam ergitilen Alüminyum (Al) miktarı kabul edilmiştir. İşletmede 2 farklı tür enerji kaynağı kullanılmış olup bunlar elektrik ve doğalgaz enerjileridir. 2018-2022 yıllarında aylık bazda üretim ve enerji tüketimlerinin değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.

5.3.1 Toplam Enerji Tüketimi ve Toplam Üretimin İncelenmesi

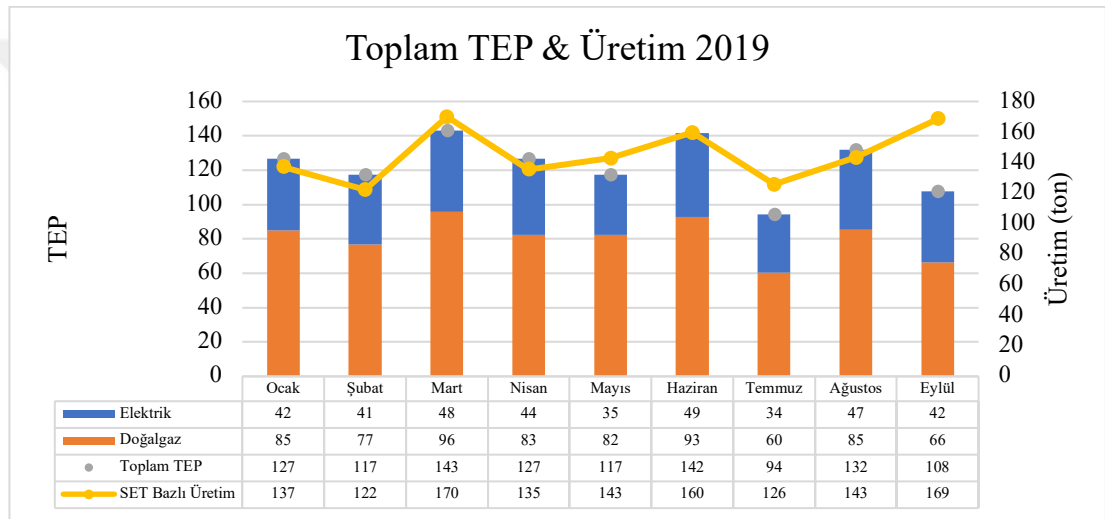
Grafik 5.1.'de 2018 yılı için aylık bazda üretim ve enerji tüketimlerinin değişimleri gösterilmektedir. İşletmede 2018 yılında toplam 1.815,27 ton Al ile üretim gerçekleştirilirken bu üretim karşısında 1.879,12 TEP enerji tüketilmiştir. Tüketim oranları değerlendirildiğinde, toplam tüketilen enerjinin %28,6'sı elektrik, %71,4'ü ise doğalgaz enerjisidir. 2018 yılında işletmede aylık bazda en yüksek üretim 180 ton Al ile ocak ayında gerçekleşirken, en yüksek enerji tüketimi aralık ayında 220 TEP olarak gerçekleştiği görülmektedir. Aylık bazda en düşük üretim 123 ton Al ile haziran ayında gerçekleşirken, en düşük tüketim ise 127 TEP ile ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Grafik 5.1. 2018 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği



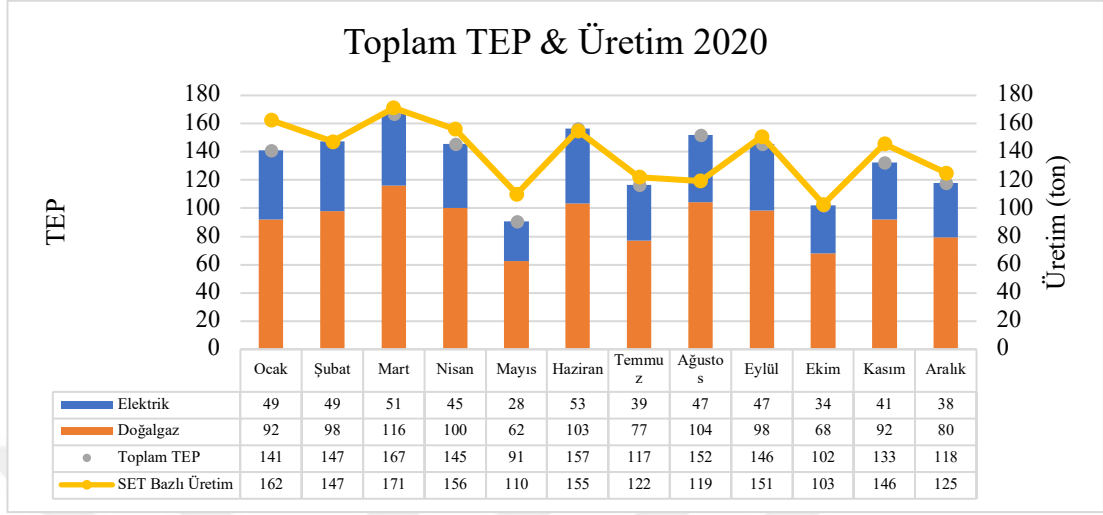
Grafik 5.2.'de 2019 yılı aylık bazda üretim ve enerji tüketimleri değişimleri incelendiğinde, toplam 1.304,76 ton Al ile üretim gerçekleşirken 1.107,22 TEP enerji tüketilmiştir. Toplam tüketilen enerjinin %34,3'ünün elektrik, %65,7'sinin doğalgaz enerjisi olduğu; aylık bazda en yüksek üretim 170 ton Al ile mart ayında, en yüksek enerji tüketimi yine mart ayında 143 TEP olarak gerçekleştiği ve en düşük üretim 122 ton Al ile şubat ayında gerçekleşirken, en düşük tüketim ekim ayında 94 TEP olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Grafik 5.2. 2019 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği



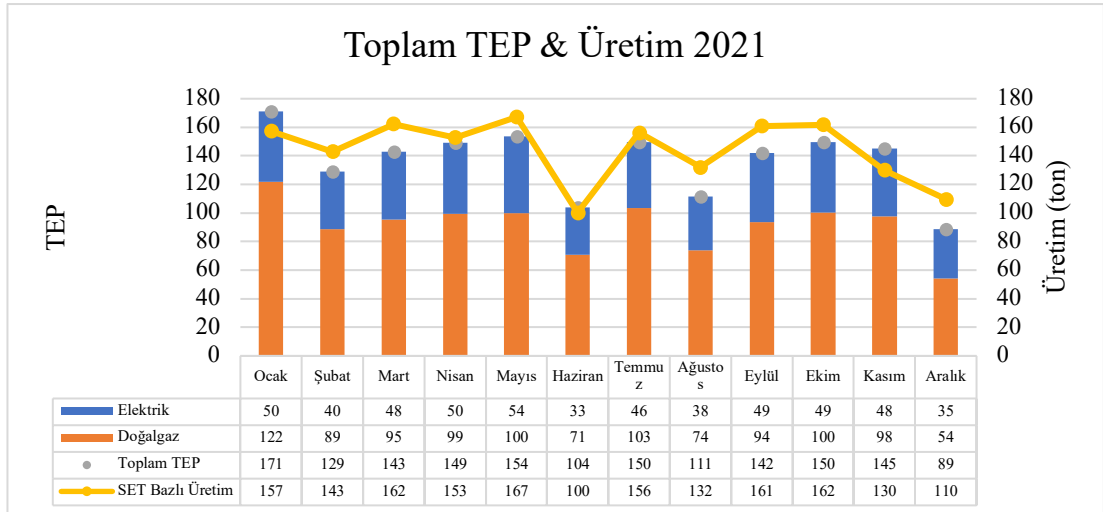
Grafik 5.3.'de 2020 yılı aylık bazda üretim ve enerji tüketimleri değişimleri incelendiğinde, toplam 1.667,85 ton Al ile üretim gerçekleşirken 1.614,90 TEP enerji tüketilmiştir. Toplam tüketilen enerjinin %32,4'ünün elektrik, %67,6'sının doğalgaz enerjisi olduğu; aylık bazda en yüksek üretim 171 ton Al ile mart ayında, en yüksek enerji tüketimi yine mart ayında 167 TEP olarak gerçekleştiği ve en düşük üretim 103 ton Al ile ekim ayında gerçekleşirken, en düşük tüketim mayıs ayında 91 TEP olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Grafik 5.3. 2020 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği



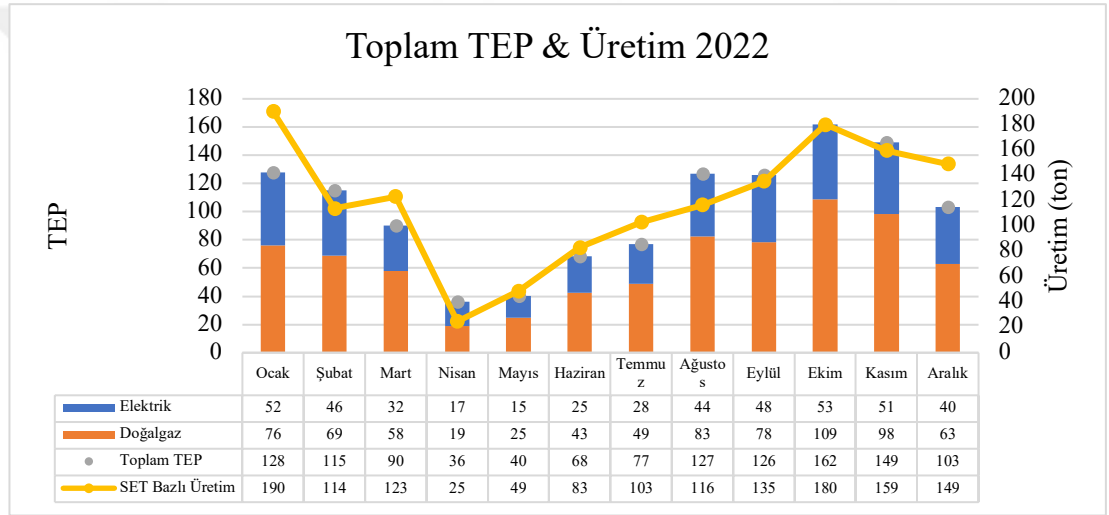
Grafik 5.4.'de 2021 yılı aylık bazda üretim ve enerji tüketimleri değişimleri incelendiğinde, toplam 1.733,57 ton Al ile üretim gerçekleşirken 1.636,65 TEP enerji tüketilmiştir. Toplam tüketilen enerjinin %32,8'inin elektrik, %67,2'sinin doğalgaz enerjisi olduğu; aylık bazda en yüksek üretim 167 ton Al ile mayıs ayında, en yüksek enerji tüketimi ocak ayında 171 TEP olarak gerçekleştiği ve en düşük üretim 100 ton Al ile haziran ayında gerçekleşirken, en düşük tüketim aralık ayında 89 TEP olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Grafik 5.4. 2021 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği



Grafik 5.5.'de 2022 yılı aylık bazda üretim ve enerji tüketimleri değişimleri incelendiğinde, toplam 1.424,46 ton Al ile üretim gerçekleşirken 1.222,33 TEP enerji tüketilmiştir. Toplam tüketilen enerjinin %37,1'inin elektrik, %62,9'unun doğalgaz enerjisi olduğu; aylık bazda en yüksek üretim 190 ton Al ile ocak ayında, en yüksek enerji tüketimi Ekim ayında 162 TEP olarak gerçekleştiği ve en düşük üretim 25 ton Al ile nisan ayında gerçekleşirken, en düşük tüketim yine nisan ayında 36 TEP olarak gerçekleştiği görülmektedir.

Grafik 5.5. 2022 Yılı Enerji Tüketimi ve Toplam Üretim Grafiği

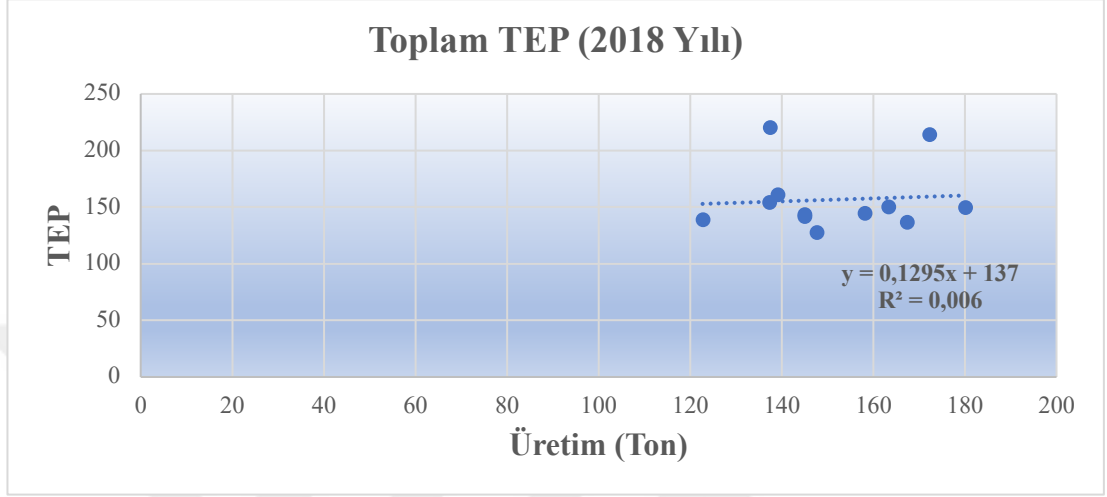


5.3.2 Üretim Miktarı ile Enerji Tüketimi Regresyon Analizi

Araştırmanın bu bölümünde 2018 ile 2022 yıllarında üretim değerleri (ton) ile enerji tüketim (TEP) değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Üretim miktarı ile harcanan toplam enerji ve enerji türlerinin (Elektrik, Doğalgaz) miktarları arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizi ile üretim miktarı ile enerji tüketimi arasındaki bağlantı incelenmektedir. Regresyon katsayısının 0.75 değerinin üstünde ve 1 değerine yakın olması ideal enerji yönetim sistemlerinin hedefidir. Toplam enerji tüketiminin yanı sıra elektrik enerjisi ve doğalgaz enerjisi türleri için de ayrı ayrı regresyon grafikleri değerlendirilmiştir. Tüm analizler 2018-2022 yıllarındaki değerlerine göre yapılmıştır.

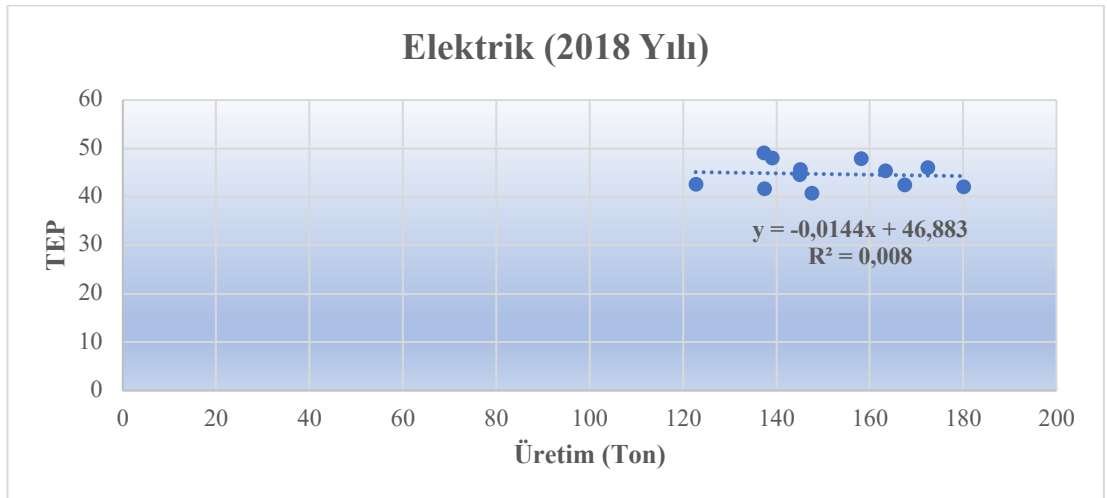
Grafik 5.6.'da 2018 yılında üretim miktarı ile tüketilen toplam enerji arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.1295z+137$, $R^2=0.006$).

Grafik 5.6. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)



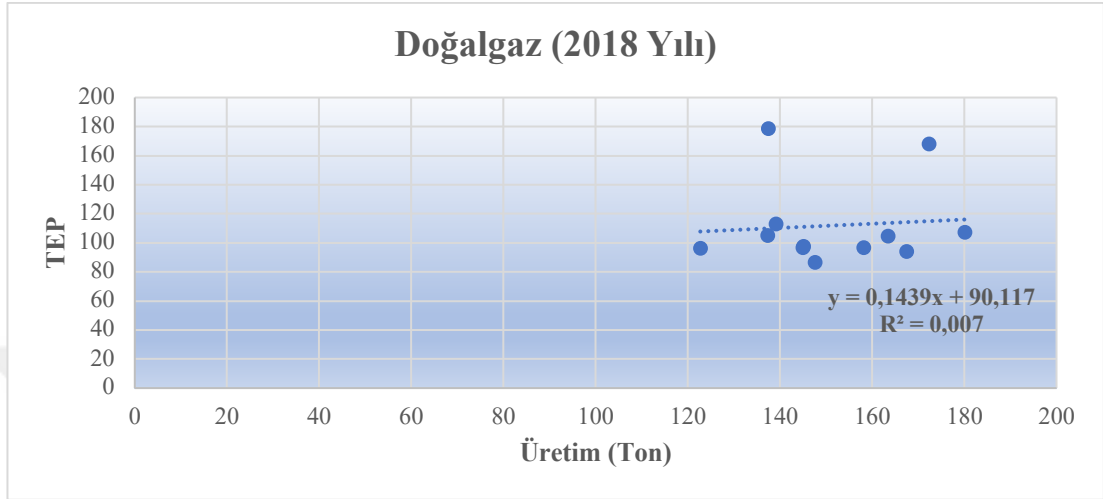
Grafik 5.7.'de 2018 yılında üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.0144x+46.883$, $R^2=0.008$).

Grafik 5.7. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)



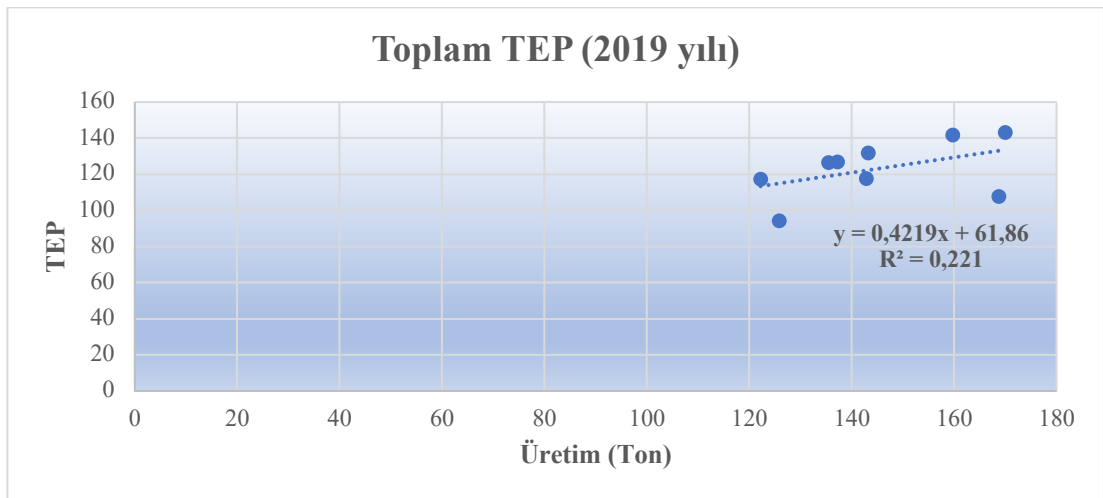
Grafik 5.8.'de 2018 yılında üretim miktarı ile tüketilen doğalgaz enerjisi arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.1439x+90.117$, $R^2=0.007$).

Grafik 5.8. 2018 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)



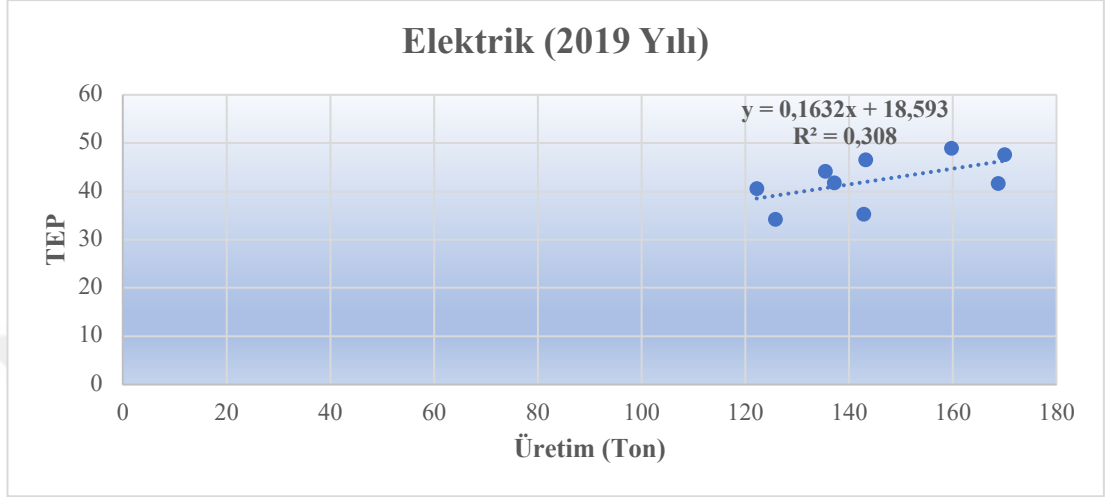
Grafik 5.9.'da 2019 yılında üretim miktarı ile tüketilen toplam enerji arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.4219x+61.86$, $R^2=0.221$).

Grafik 5.9. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)



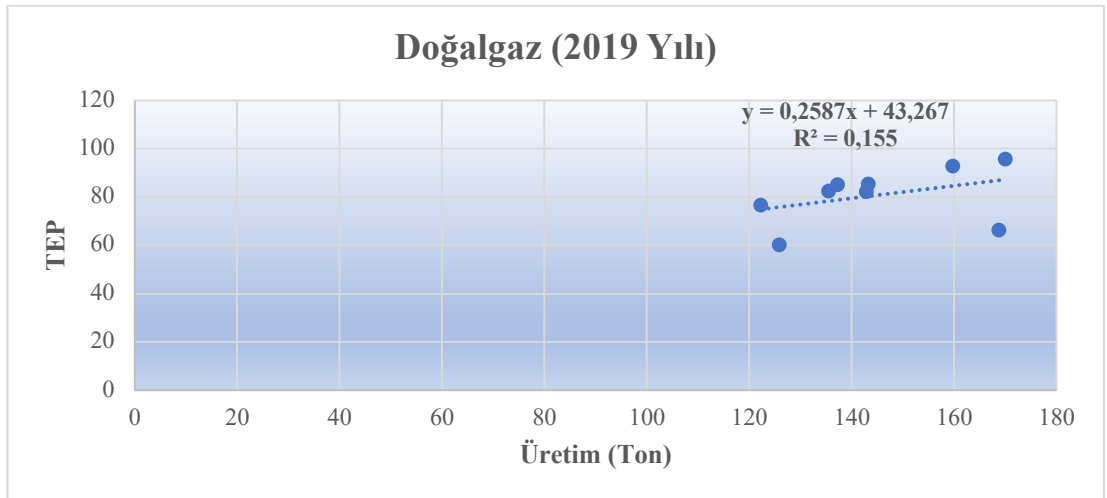
Grafik 5.10.'da 2019 yılında üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.1632x+18.593$, $R^2=0.308$).

Grafik 5.10. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)



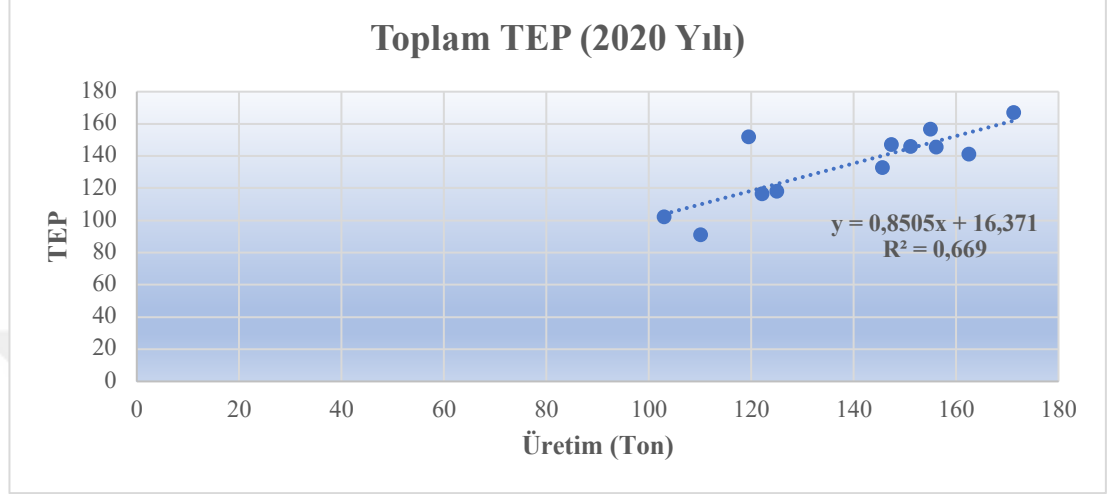
Grafik 5.11.'de 2019 yılında üretim miktarı ile tüketilen doğalgaz enerjisi arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.2587x+43.267$, $R^2=0.155$).

Grafik 5.11. 2019 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)



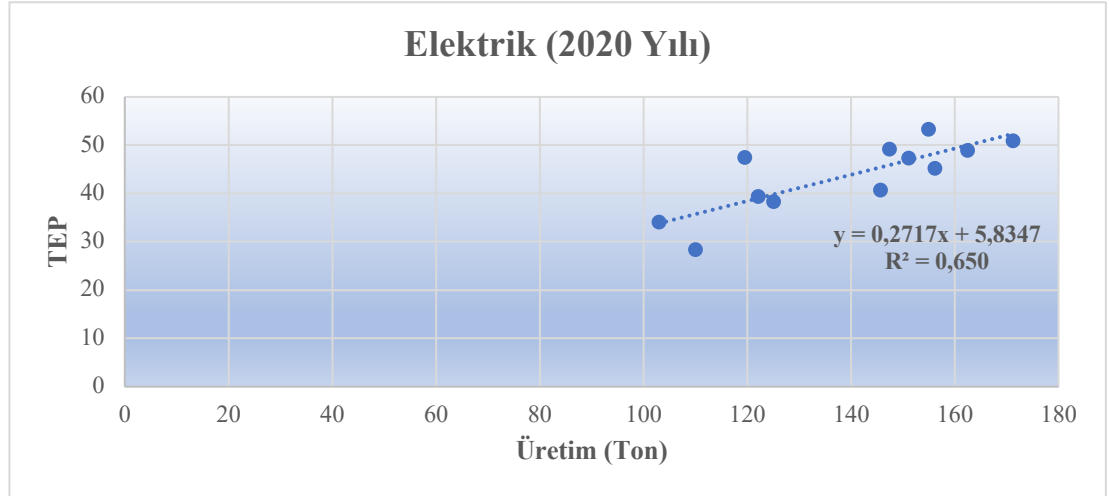
Grafik 5.12.'de 2020 yılında üretim miktarı ile tüketilen toplam enerji arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.8505x+16.371$, $R^2=0.669$).

Grafik 5.12. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)



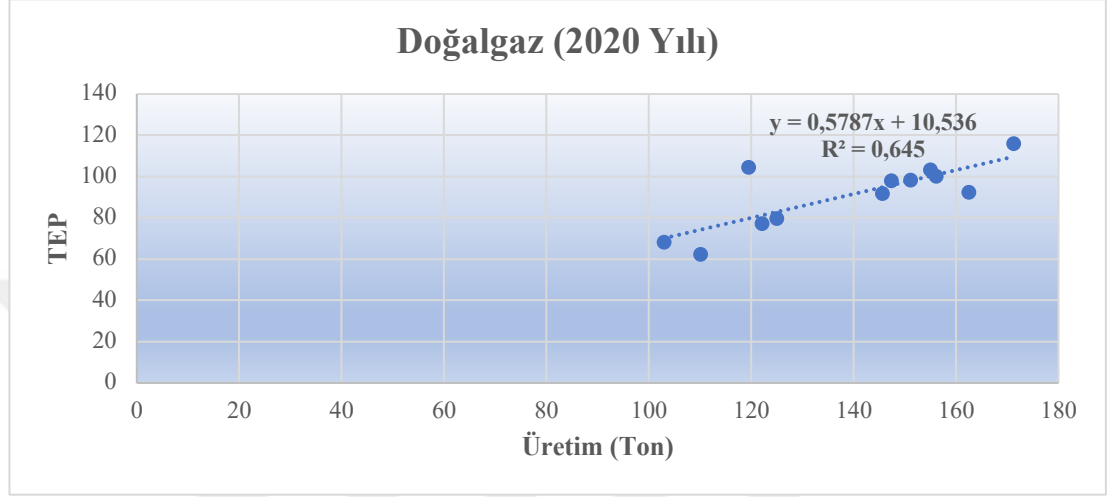
Grafik 5.13.'de 2020 yılında üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.2717x+5.8347$, $R^2=0.650$).

Grafik 5.13. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)



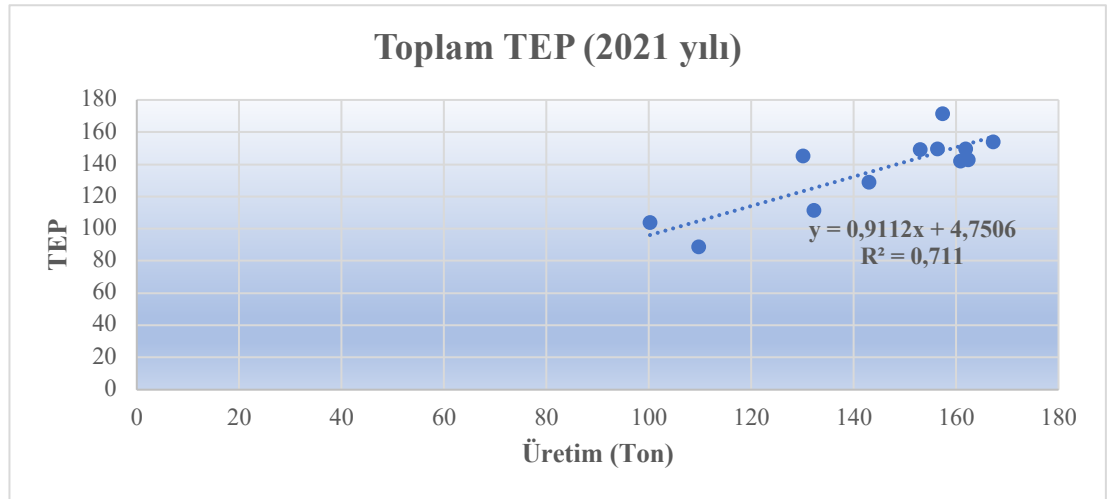
Grafik 5.14.'de 2020 yılında üretim miktarı ile tüketilen doğalgaz enerjisi arasında güçlü düzeyde bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.5787x+10.536$, $R^2=0.645$).

Grafik 5.14. 2020 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)



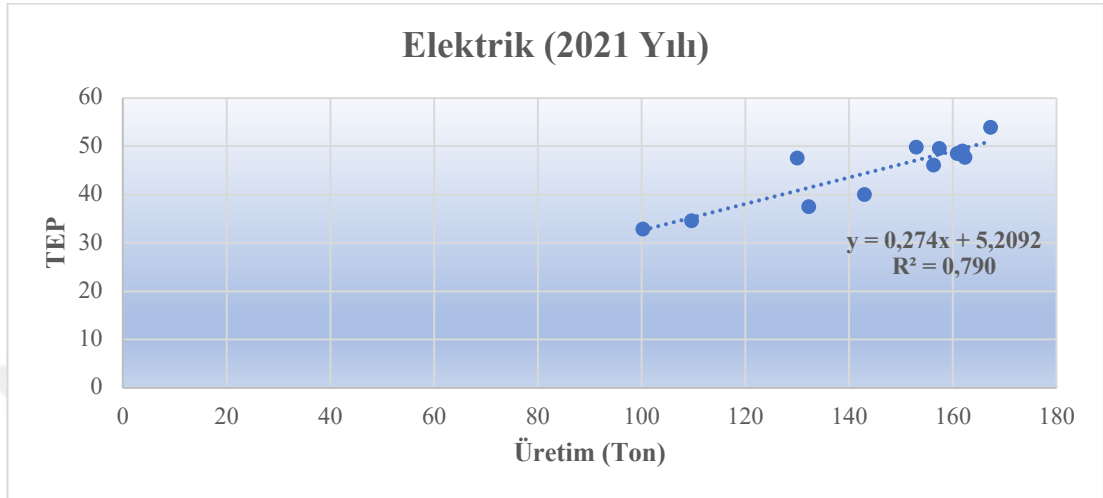
Grafik 5.15.'de 2021 yılında üretim miktarı ile tüketilen toplam enerji arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.9112x+14.7506$, $R^2=0.711$).

Grafik 5.15. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)



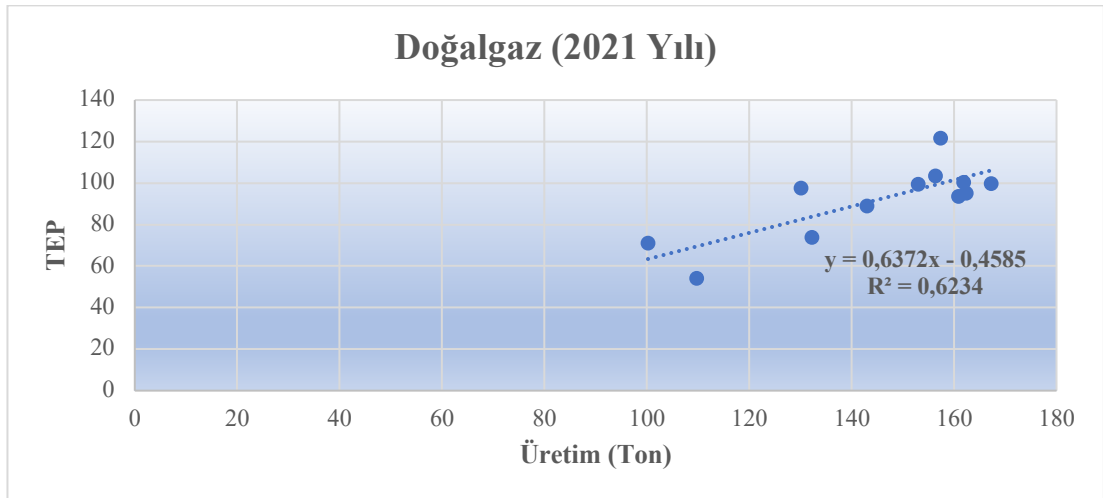
Grafik 5.16.'da 2021 yılında üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.274x+5.2092$, $R^2=0.790$).

Grafik 5.16. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)



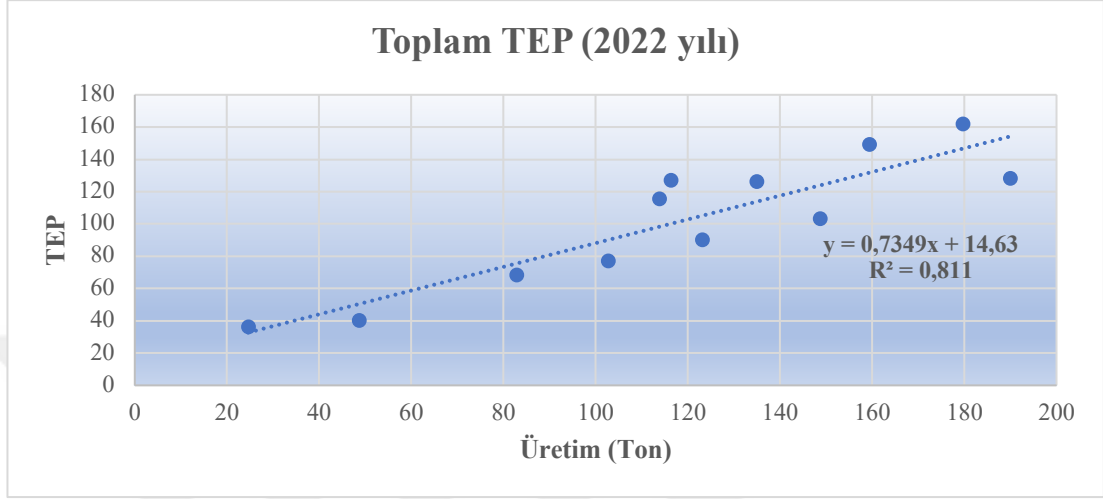
Grafik 5.17.'de 2021 yılında üretim miktarı ile tüketilen doğalgaz enerjisi arasında güçlü düzeyde bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.6372x+0.4585$, $R^2=0.623$).

Grafik 5.17. 2021 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)



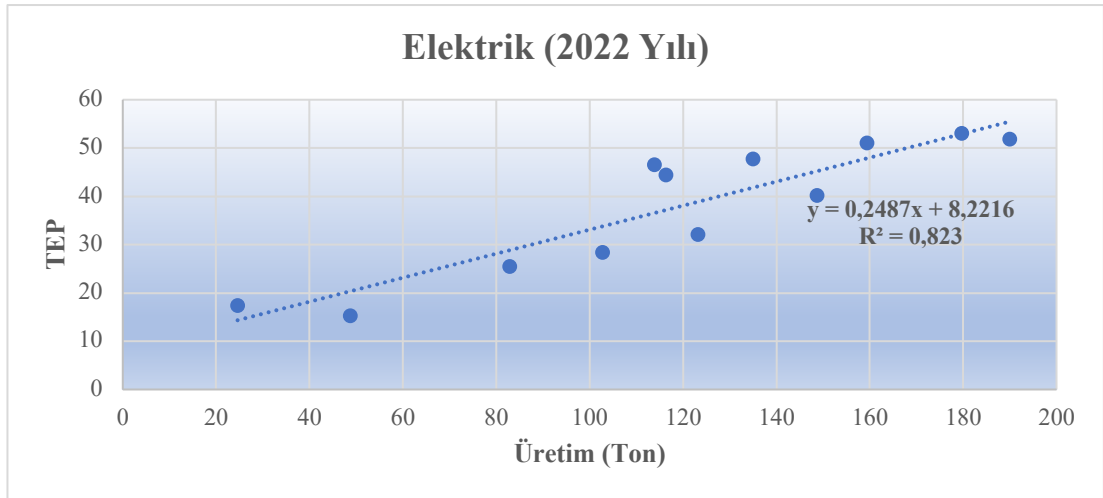
Grafik 5.18.'de 2022 yılında üretim miktarı ile tüketilen toplam enerji arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.7349x+14.63$, $R^2=0.811$).

Grafik 5.18. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Toplam)



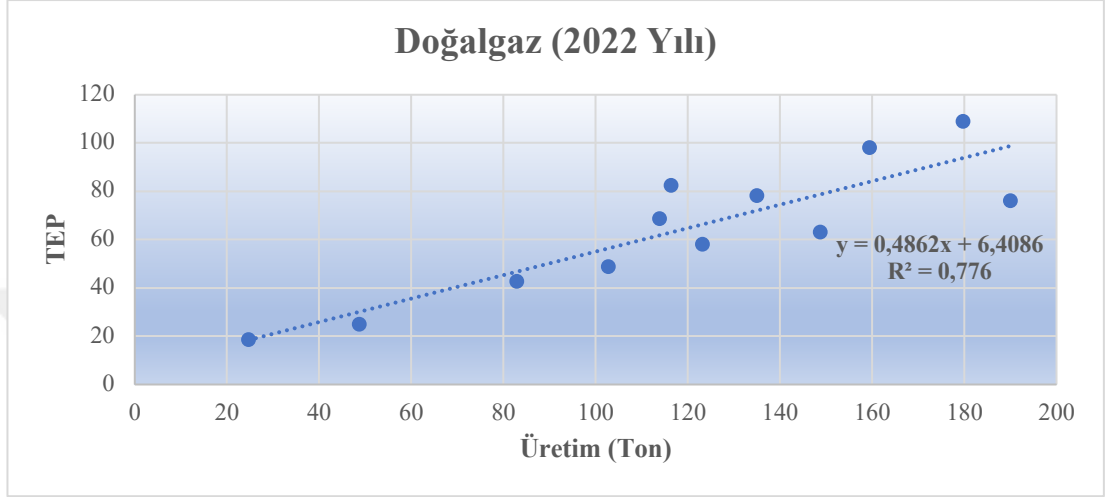
Grafik 5.19.'da 2022 yılında üretim miktarı ile tüketilen elektrik enerjisi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.2487x+8.2216$, $R^2=0.823$).

Grafik 5.19. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Elektrik)



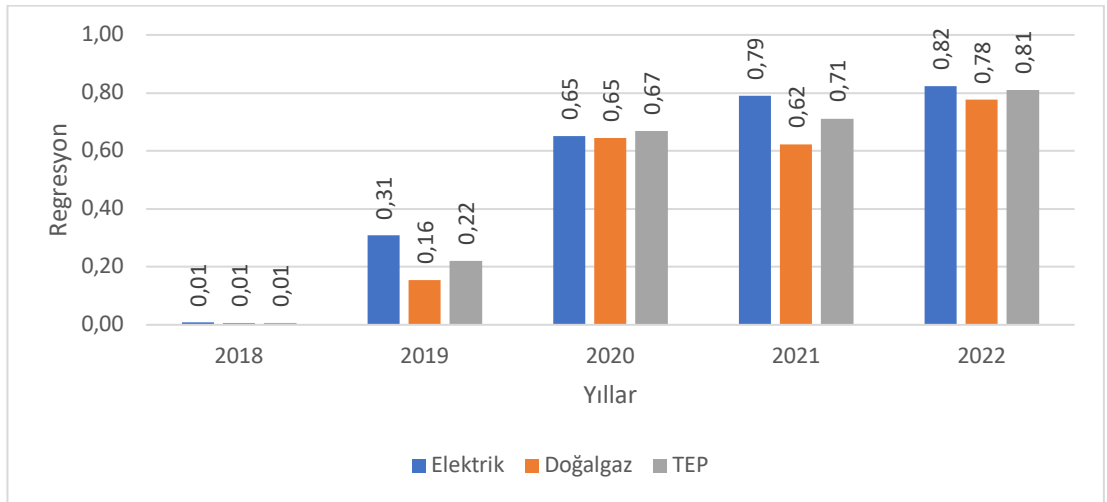
Grafik 5.20.'de 2022 yılında üretim miktarı ile tüketilen doğalgaz enerjisi arasında güçlü düzeyde bir ilişki olduğu görülmektedir ($y=0.4862x+6.4086$, $R^2=0.776$).

Grafik 5.20. 2022 Yılı Üretim – Toplam Enerji Tüketimi Trend Grafiği (Doğalgaz)



Grafik 5.21.'de 2018 – 2022 yılları arasında gerçekleşen üretim miktarı ile tüketilen enerjisi arasındaki regresyon oranlarının değişimi gösterilmektedir.

Grafik 5.21. 2018-2022 Yılları Üretim – Enerji Tüketimi Regresyon Oranları Değişimi



5.3.3 Kalite İncelemesi

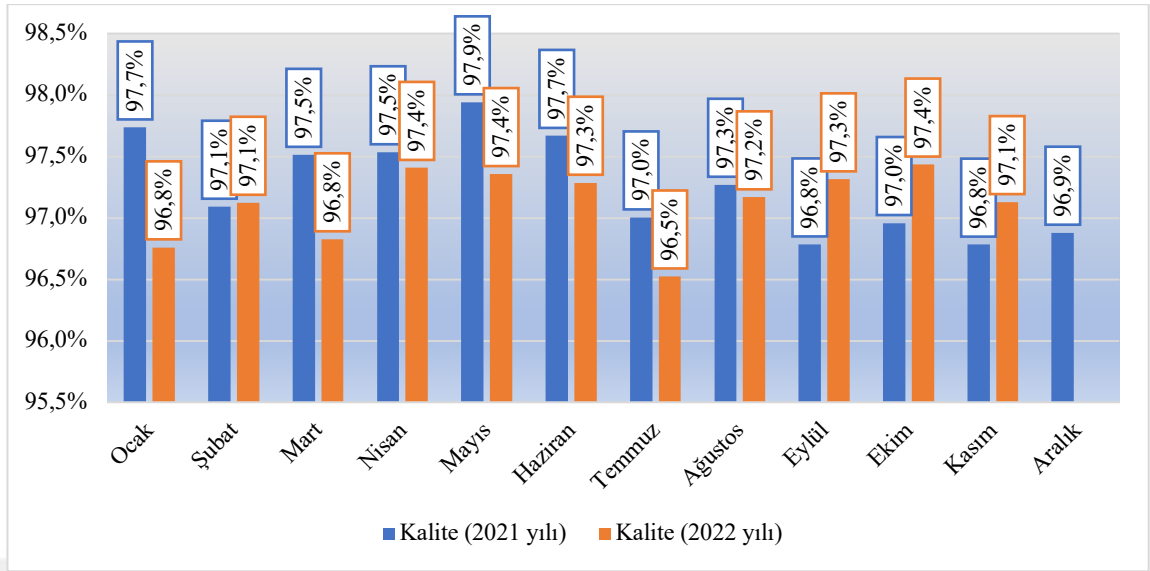
Endüstriyel işletme, 2021 yılında endüstriyel otomasyon piramidinde Yönetim Seviyesi basamağında bulunan ve devreye aldığı Üretim Yürütme Sistemi (MES) ile üretilen ürünlere ilişkin kalite verilerini de toplamaya başlamıştır. Elde edilen toplam sağlam parça sayısı ve toplam üretilen parça sayılarıyla hesaplanan kalite oranı kalite süreçlerinde devamlılık için önemli bir çıktı sunmaktadır. Kalite verileri ile işletme, geçmişe dönük verileri analiz ederek kalite hatalarının tekrarlanmaması ve kalitede devamlılık için önemli bir avantaj sağlamıştır.

Grafik 5.22.'de 2021 ve 2022 yıllarında veri toplama noktalarından elde edilen kalite verilerinin aylık bazda değişimleri incelenmiştir. 2021 yılı ortalama kalite oranı %97,3 iken bu oran 2022 yılında %97,1 olarak hesaplanmıştır. 2021 yılında en yüksek kalite oranı %97,7 ile mayıs ayında görülürken, 2022 yılında en yüksek kalite oranı %97,4 ile nisan, mayıs ve ekim aylarında görülmüştür.

2021-2022 yıllarında ilk 6 aylık dönemdeki kalite değişimi değerlendirildiğinde, 2021 yılı ilk 6 aylık dönemde kalite oranı %97,6 ve 2022 yılı ilk 6 aylık dönemde kalite oranı %97,1 olarak; 2021 yılı ikinci 6 aylık dönemde kalite oranı %96,9 iken 2022 yılında ikinci 6 aylık dönemde kalite oranı %97,1 olarak görülmüştür.

Sonuç olarak 2021 2022 yıllarındaki kalite oranları, aylık ve yıllık dönemlerde oldukça yüksek seyretmiştir.

Grafik 5.22. 2021 – 2022 Yılları Arasındaki Kalite Değişim Oranları



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstri 4.0, geleneksel üretim süreçlerini dijital teknolojilerle entegre ederek, üretimde verimliliği artırmayı hedefleyen bir dönüşümü ifade eder. Bu yaklaşım, otomasyon, veri analizi, yapay zekâ ve internet of things (IoT) gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımını içerir. Endüstri 4.0'ın enerji sektöründeki uygulamaları, enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir bir enerji geleceği oluşturmak adına önemli bir rol oynamaktadır.

Enerji verimliliği, kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılması ve enerji tüketiminin azaltılması anlamına gelir. Endüstri 4.0, üretim tesislerinde akıllı sensörlerin, otomasyonun ve veri analizinin kullanılmasıyla enerji tüketimini optimize etmeyi sağlar. Üretim ekipmanları arasında iletişim kurma yeteneği sayesinde sistemler daha hassas bir şekilde yönetilebilir ve enerji israfı en aza indirilebilir.

Bu tez çalışması ile örnek bir fabrikan elde edilen verilerle kuruluşun Endüstri 4.0 ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Örnek Fabrika 2021 yılı itibariyle mevcutta kullandığı ERP yazılımına MES yazılımını da entegre ederek; 18 adet metal enjeksiyon tezgâh, 18 adet kalıp ısıtıcı, 8 adet elektrikli bekletme ocağı, 1 adet ışıl işlem ünitesi, 3 adet kompresör olmak üzere toplam 48 noktadan elektrik verisi ve 5 adet ana ergitme fırını, 3 adet öne ısıtma ünitesi, 10 adet doğalgaz bekletme ocağı olmak üzere toplam 18 noktadan doğalgaz verisi toplamaya başlamıştır.

MES sistemi ile verilerin dijital olarak kaynağından insan beyanı olmadan toplanmasını sağlayan kuruluş, bu verileri anlık toplamakta ve bu verilere her an erişebilmektedir. Bu sayede geriye dönük kayıtları analiz ederek kalitede devamlılığı hedeflemiştir. 2021 ve 2022 yıllarında elde edilen toplam sağlam parça sayısı ve toplam üretilen parça sayılarıyla hesaplanan kalite oranlarına bakıldığında 2021 yılı ortalama kalite oranı %97,3 iken bu oran 2022 yılında %97,1 olarak ölçülmüştür. Bu sonuç ile kuruluşun kalite süreçlerinde devamlılık sağladığı görülmektedir.

Enerji verilerinin yanında üretim, fire, duruş gibi temel üretim verilerini de MES yazılımı üzerinden toplayan ve analizler gerçekleştiren kuruluş, elde edilen bilgilere göre üretimde verimliliği artırmaya yönelik çalışmalarını her geçen gün artırdığı

görülmüştür. Elde edilen bu verilerin karar alma süreçlerinde iyileştirmeler sağlamıştır. Elektrik dağıtım panolarında yaptığı düzenlemeler ile kayıp kaçak enerjiyi ortadan kaldırılarak enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Bu tez çalışması ile 2018 ile 2022 yıllarında fabrikada Alüminyum ergitme üretim değerleri ile enerji tüketim değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Üretim miktarı ile harcanan toplam enerji ve enerji türlerinin miktarları arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler göre 2018 yılında 0.006, 2019 yılında 0.221, 2020 yılında 0.669, 2021 yılında 0.711, 2022 yılında 0.811 olarak ölçülmüştür. Regresyon katsayısının 0.75 değerinin üstünde ve 1 değerine yakın olması ideal enerji yönetim sistemlerinin hedefidir. Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere kuruluştaki enerji verimliliği her geçen yıl pozitif yönde bir ivme kazanmıştır.

Sonuç olarak dijital fabrikalar, üretim ekipmanlarının daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için sürekli olarak veri toplar ve analiz eder. Bu da enerji tüketimini optimize ederek kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Endüstri 4.0, sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunur. Akıllı üretim süreçleri, atıkları azaltabilir, enerji tasarrufu sağlayabilir ve karbon ayak izini düşürebilir.

KAYNAKLAR

Arkan, Ö. (2018). Endüstri 4.0 Kavramı ve Endüstri 4.0 Dönüşümünün Üretim Maliyetlerine Etkisi Üzerine Bir Vaka Çalışması: Bebek Bezi Üretimi. İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ashton, T.S. (1948). Some Statistics of the Industrial Revolution in Britain. The Manchester School, 16(3), 214-234.

Banger, G. (2016). Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme (1. Baskı). Ankara: Dorlion Yayınları.

Barutcu, H. C. (2019). Endüstri 4.0 Uygulamalarının Üretim Süreçlerine Etkisi: Bosch Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Örneği. İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Başer, N. E. (2011). I. Sanayi Devriminde Teknolojik Gelişiminin Rolü. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Berger, R. (2016). The Industrie 4.0 transition quantified: How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model. Roland Berger GMBH.

Bilgin, O. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi ve Türkiye Ekonomisi: Ulusal Yenilik Sistemi Çerçevesinde Bir İnceleme. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale.

CIPEC, Canadian Industry Program Energy Conservation (2003). Canadian Foundry Association, Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries, 9.

CIPEC, Canadian Industry Program Energy Conservation. (2002). Energy Efficiency Planning and Management Guide (Kanada, 12, ss. 59-175).

Coşkun, M. (2019). Örnek Bir Alüminyum Ekstrüzyon İmalat Tesisiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Curran, J., Fenton, N., Freedman, D. (2012). Misunderstanding the Internet. 1.Baskı. Taylor & Francis Books.

Çalış Duman, M. (2020). Endüstri 4.0 Teknoloji Bileşenlerinin Örgütsel Performansa Etkilerini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma. İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Malatya.

Çelikleş, M. S., Sonlu, G., Özgel, S., & Atalay, Y. (2015). Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası. Mühendis ve Makine Dergisi, 56(662), 24-34.

Çiçekler, A. N. (2010). Sanayi Devrimi Döneminde İngiltere’de Çalışma Koşulları: Charles Dickens Romanlarından Yansımalar. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Danışman, Y. (2019). Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Davies, R. (2015). Industry 4.0 Digitalisation for Productivity and Growth, European Parliamentary Research Service (EPRS).

Değirmenci, A. İ. (2010). Türkiye’de Uygulanan Yalıtım Tekniklerinin Araştırılmasında Termal Kameranın Etkin Biçimde Kullanılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Değirmen, M. (2015). Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Verimliliği Optimizasyonunda Altı Sigma Metodolojisinin Kullanılması. Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.

Derya, H. (2018). Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0. G. Ü. İslâhiye İİBF Uluslararası E-Dergi, 2(2), 1-20.

EBSO Araştırma Müdürlüğü. (2015). *Sanayi 4.0.* Ege Bölgesi Sanayi Odası, İzmir/Türkiye.

Engin, P. (2018). Türkiye’de Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Sanayi Kuruluşları ve Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Garbie, İ. (2016). Sustainability in Manufacturing Enterprises Concepts, Analyses and Assessments for Industry 4.0. Switzerland: Springer.

Gökpınar, V. (2012). İnşaat Çeliği ve Yassı Mamul Üreten Demir Çelik Tesislerinde Enerji Verimliliği ve Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.

Görçün, Ö. F. (2016). Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0. İstanbul: Beta Yayınevi.

Gunes, V., Steffen, P., Givargis, T., & Vahid, F. (2014). A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber-Physical Systems. Transactions on Internet and Information Systems, 8(12), 4222.

Hepbaşlı, A. (2010). Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi. Esen Ofset Matbaacılık.

İçten, Tarık Bal, Güngör (2017). Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(2), 111-136.

Kabaklarlı, E. (2016). Endüstri 4.0 ve Dijital Ekonomisi; Dünya ve Türkiye Ekonomisi İçin Fırsatlar, Etkiler ve Tehditler. 1. Baskı. Ankara: Nobel Bilimsel Eserler.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Stratejik Girişimin Uygulanması İçin Öneriler Endüstri 4.0: Endüstri 4.0 Çalışma Grubu'nun son raporu. Forschungsunion: Berlin, Almanya.

Kander, A., Malanima, P., Warde, P. (2014). Power to the People Energy in Europe over the Last Five Century. 5.Baskı. Princeton University Press.

Kavak, K. (2005). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi.

Kıyılmaz, B. (2019). Sanayide Enerji Yönetimi Esasları ve Enerji Verimliliğinin Araştırılması (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 558714).

Kleinrock, L. (2010). An Early History of the Internet. IEEE Communication Magazine, 48(1), 26-36.

Kleinrock, L. (2008). History of the Internet and Its Flexible Future. IEEE Wireless Communication, 15(4), 8-18.

Koçak, C. (2019). Dördüncü Sanayi Devrimi: “Endüstri 4.0” ve Bir Cam Fabrikasında Uygulanması. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2011). Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach - Edition 1.5. ISBN 978-1-312-42740-2.

Mokyr, J. (1990). The Lever of Riches. 1. Baskı. Oxford University Press.

Ogan Özdoğan. (2017). Endüstri 4.0. İstanbul: Pusula Yayınları.

Özarlan, Y. (2011). Öğrenen İçerik Etkileşiminin Genişletilmiş Gerçeklik İle Zenginleştirilmesi. 5.International Computer and Instructional Technologies Symposium (Bildiri), ICITS 2011, Elâzığ 24 Eylül 2011.

Özel, C. (2010). İşletmelerde Enerji Verimliliği Çalışmalarının Etkilerinin İncelenmesi ve Hizmet Sektöründe Bir Araştırma. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Öztuna, B. (2017). Endüstri 4.0. Ankara: Gece Kitaplığı Yayınları.

Parlak, R. O. (2022). Alüminyum Enjeksiyon Kalıplama Sektöründe Üretim Yürütme Sisteminin Uygulanması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ramizov, H. (2019). Endüstri 4.0’ın Rekabet Gücü Üzerindeki Etkisi: Türkiye Ekonomi Analizi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.

Sarıkulak, Ö. (2018). Endüstri Devrimlerinin Performans Göstergelerine Etkilerinin İncelenmesi ile Endüstri 4.0 Analizi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Schwab, K. (2017). Dördüncü Sanayi Devrimi. (Çev. Zülfü Dicleli). İstanbul: Optimist Yayınları.

Sercan, M. R. (2019). Türkiye’nin Endüstri 4.0 Potansiyeli ve Seçilmiş Ülkeler ile Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Seyrek, İ. H. (2011). Bulut Bilişim: İşletmeler İçin Fırsatlar ve Zorluklar. Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(2), 701-713.

Şimşek, T., Kent, E., Çınar, H., Bayramusta, M., Baycan, C., Sivas, G., Güngören, U., Akbaş, S., Özlü, O., Özer, T., Bayrak, M., Özkaya, Ö. (2015). “Endüstri 4.0 Yolunda”. Siemens – Endüstri 4.0 Platformu Dergisi, 1-24.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü (2005). Enerji Yönetim Sistemleri Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz, TS EN ISO 50001 Ankara, 3-5.

Tuğlu, M. E. (2017). Endüstri 4.0’ın Alüminyum Döküm Fabrikasında Uygulanması. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Türkcan, Ergun. (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Bilim, Teknoloji ve Politika (Birinci Baskı). İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Türkoğlu, E. (2018). Firmaların Endüstri 4.0’a Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi: Bursa İlindeki Uygulaması. Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Uzun, A., Değirmen, M. (2018). Energy Efficiency and Energy Management in Industrial. International Journal of Economic Studies, 4(2).

Uzun, E. (2021). Endüstriyel İşletmelerde Enerji İzleme Sistemleri ve ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine Katkıları. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Ünlü, O. (2009). Sanayide Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Önemi ve Buhar Sistemleri ile İlgili Uygulama Örnekleri, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1, 67-80.

Vardar, S. (2016). IV. Endüstri Devrimi Paradigması. Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi, EKİM 2016, Yıl 28, Sayı 334.

Wong, K. K. K. (2013). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Techniques Using SmartPLS. Marketing Bulletin, 24(1), 1-32.

İNTERNET KAYNAKLARI

Bayrak, A. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de Sanayi’de Dijital Dönüşüm (Sanayi 4.0) İncelemesi ve Türkiye’nin Entegrasyonu İçin Değerlendirmeler.

https://digit4turkey.org/wpcontent/uploads/2020/01/End%C3%BCstri_4.0_Raporu.pdf, Erişim Tarihi: 10.12.2023.

Bulut, C. (2017). Bulut Bilişim (Cloud Computing) Nedir?

<https://www.endustri40.com/bulut-bilisim-cloud-computing-nedir>, Erişim Tarihi: 01.11.2023.

Enerji Verimliliği Kanunu (2007, 2 Mayıs), Resmî Gazete (Sayı:26510)

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>., Erişim Tarihi: 15.10.2023.

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023 (2012, 25 Şubat), Resmî Gazete (Sayı:28215),

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.

<https://www.endustri40.com>, (Erişim Tarihi: 15/12/2023).

Kahraman, H. (2016). Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality).

<https://www.endustri40.com/artirilmis-gerceklik-augmented-reality>, Erişim Tarihi: 01.10.2023.

Keseyak, B. 4D Yazıcılar ve Akıllı Malzemeler. <https://www.endustri40.com/4d-yazicilar-ve-akilli-malzemeler/>, Erişim Tarihi: 17.02.2020.

ÖZGEÇMİŞ

Azat Yakup ŞENGÜL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : (2015), Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : (2024), İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİMLER:

- **Mina Mekanik:** 2016-2019, Elektrik Elektronik Proje Mühendisi
- **Lineer Enerji:** 2019-2021, Elektrik Elektronik Proje Mühendisi
- **Grupas Gelişim:** 2021-2023, Elektrik Elektronik Mühendisi (Endüstriyel Otomasyon & Yazılım)