

**T.C**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İKTİSAT ANABİLİM DALI**  
**İKTİSAT BİLİM DALI**



**ENDÜSTRİ 4.0'IN SEKTÖREL ETKİLERİ: LOJİSTİK**  
**SEKTÖRÜ VE TÜRKİYE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEMİH KARACA**

**TEZ DANIŞMANI**

**Doç. Dr. Işıl Şirin Selçuk Çakmak**

**BOLU, TEMMUZ - 2024**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Semih KARACA** tarafından hazırlanan “**ENDÜSTRİ 4.0'IN SEKTÖREL ETKİLERİ: LOJİSTİK SEKTÖRÜ VE TÜRKİYE**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından İktisat Anabilim Dalı İktisat Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir. 22/07/2024

### Jüri Üyeleri

### İmza

Danışman

Doç. Dr. Işıl Şirin SELÇUK ÇAKMAK  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Fatih KONUR  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Altuğ Murat KÖKTAŞ  
Necmettin Erbakan Üniversitesi

.....

### Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

**Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü**

## ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....  
**SEMİH KARACA**

## ÖZET

### ENDÜSTRİ 4.0'IN SEKTÖREL ETKİLERİ: LOJİSTİK SEKTÖRÜ VE TÜRKİYE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEMİH KARACA

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İKTİSAT ANABİLİM DALI

İKTİSAT BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. İŞİL ŞİRİN SELÇUK ÇAKMAK)

BOLU, TEMMUZ- 2024

XII + 75 SAYFA

Dördüncü sanayi devrimi olarak kabul edilen Endüstri 4.0 kavramı günümüzde birçok sektörü etkileme potansiyeline sahiptir. Endüstri 4.0'ın etkilediği sektörlerden biri olan lojistik sektöründe, endüstriyel süreçlerin dijitalleşmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan hizmet türleri de giderek çeşitlenmektedir. Lojistik sektöründeki tüm Endüstri 4.0 uygulamaları Lojistik 4.0 kapsamına girmektedir. Dördüncü Sanayi Devrimi'nin en önemli uygulamalarından biri olan Lojistik 4.0, sürdürülebilirlik, verimlilik ve temel iş süreçlerinin iyileştirilmesi açısından tedarik zincirinin tüm üyeleri için vazgeçilmezdir. Lojistik 4.0, akıllı ulaşım sistemlerini kurumsal kaynak planlaması, depo yönetim sistemleri, nakliye yönetim sistemleri, tedarik zinciri ve lojistik süreçlerine entegre eden ileri teknoloji uygulamasıdır. Teknoloji entegrasyonu sayesinde şirketler, maliyet, zaman, hız ve rekabet avantajı elde ederek müşterilerine daha iyi hizmet vermeyi ve değer yaratmayı amaçlamaktadır. Günümüzde oldukça popüler olan Lojistik 4.0 kavramına ilişkin araştırmaların sunumu, bu alanda çalışan veya çalışmak isteyen teorisyenler ve uygulayıcılar için büyük önem taşımaktadır. Tez kapsamında yapılan SWOT analizi, Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik sektörü üzerindeki güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatları ve tehditleri değerlendirmektedir. Güçlü yönler arasında verimlilik artışı ve maliyet azaltımı ön plana çıkarken, zayıf yönler arasında yüksek yatırım gereksinimleri ve olası ekonomik riskler bulunmaktadır. Fırsatlar ise yeni pazarların ve hizmetlerin keşfedilmesi ile rekabet avantajı elde etme potansiyelini içerirken, hızlı teknolojik değişimler ve artan regülasyonlar olası tehditler olarak öne çıkmaktadır. Mayıs ayında yapılan görüşmelerde, sektörün önde gelen lojistik firmaları ile yapılan değerlendirmeler, Lojistik 4.0 uygulamalarının Türkiye'deki durumu ve gelecekteki yönelimleri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Görüşmelerde, özellikle akıllı teknolojilerin entegrasyonunun, sektördeki verimlilik ve rekabet gücünü artırma potansiyeli üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, çalışmanın amacı, Lojistik 4.0'ın keşfedilmemiş veya gelişme potansiyeli olan alanlarını öne çıkarmak ve bu alandaki araştırmaların geleceğine ışık tutmaktır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Endüstri 4.0, Sanayi Devrimi, Lojistik 4.0, Türkiye, SWOT analizi

## **ABSTRACT**

### **SECTORAL IMPACTS OF INDUSTRY 4.0: LOGISTICS SECTOR AND TURKEY**

**MASTER'S THESIS**

**SEMIH KARACA**

**BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

**DEPARTMENT OF ECONOMICS**

**FIELD OF ECONOMICS**

**(SUPERVISOR: ASSOC.PROF. DR. İŞİL ŞİRİN SELÇUK ÇAKMAK)**

**BOLU, JULY- 2024**

**XII + 75 PAGES**

Industry 4.0, known as the Fourth Industrial Revolution, can affect many sectors today. One sector that Industry 4.0 impacts is logistics. With the digitalization of industrial processes, the types of services needed in logistics are becoming more varied. All Industry 4.0 applications in logistics are part of what we call Logistics 4.0. Logistics 4.0 is very important for all members of the supply chain because it helps improve sustainability, efficiency, and core business processes. It involves using smart transportation systems and integrating them with enterprise resource planning, warehouse management systems, transportation management systems, supply chain, and logistics processes. By using technology, companies aim to save costs, time, and improve speed and competitiveness, providing better services and value to their customers. Research on the popular concept of Logistics 4.0 is important for people who work or want to work in this field. The SWOT analysis in the thesis looks at the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of Industry 4.0 in the logistics sector. Strengths include increased efficiency and lower costs, while weaknesses are high investment needs and potential economic risks. Opportunities include discovering new markets and services and gaining competitive advantages, but rapid technological changes and more regulations can be threats. In May, interviews with leading logistics companies gave important insights into the current state and future directions of Logistics 4.0 in Turkey. These discussions highlighted the potential of smart technologies to improve efficiency and competitiveness. The study aims to focus on areas of Logistics 4.0 that are not yet explored or are developing, and to guide future research in this field.

**KEYWORDS:** Industry 4.0, Industrial Revolution, Logistics 4.0, Turkey, SWOT Analysis

# İÇİNDEKİLER

|                                                                  | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| KABUL VE ONAY SAYFASI .....                                      | iii          |
| ETİK BEYAN.....                                                  | iv           |
| ÖZET.....                                                        | v            |
| ABSTRACT .....                                                   | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                | vii          |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                               | ix           |
| TABLO LİSTESİ .....                                              | x            |
| KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....                               | xi           |
| TEŞEKKÜR .....                                                   | xii          |
| GİRİŞ .....                                                      | 1            |
| BİRİNCİ BÖLÜM.....                                               | 3            |
| 1. SANAYİ DEVRİMLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0 DEVRİMİ .....               | 3            |
| 1.1 Endüstri 4.0 Devriminin Tarihi Gelişimi .....                | 3            |
| 1.1.1 Birinci Sanayi Devrimi: Endüstri 1.0 .....                 | 4            |
| 1.1.2 İkinci Sanayi Devrimi: Endüstri 2.0 .....                  | 5            |
| 1.1.3 Üçüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 3.0 .....                  | 6            |
| 1.1.4 Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0.....                 | 6            |
| 1.2 Endüstri 4.0 Yapısı .....                                    | 8            |
| 1.3 Endüstri 4.0' ün Temel Teknolojileri .....                   | 9            |
| 1.3.1 Bulut Bilişim Sistemleri.....                              | 10           |
| 1.3.2 Katmanlı İmalat-3D Yazıcı.....                             | 12           |
| 1.3.3 Nesnelerin İnterneti (IoT) .....                           | 12           |
| 1.3.4 Büyük Veri ve Veri Analitiği .....                         | 13           |
| 1.3.5 Siber Güvenlik .....                                       | 14           |
| 1.3.6 Siber Fiziksel Sistemler .....                             | 14           |
| 1.3.7 Artırılmış/Sanal Gerçeklik .....                           | 14           |
| 1.3.8 Simülasyon.....                                            | 15           |
| 1.3.9 Endüstriyel Robotlar .....                                 | 15           |
| 1.3.10 Akıllı Fabrikalar.....                                    | 16           |
| 1.4 Endüstri 4.0'ın Olumlu ve Olumsuz Yönleri .....              | 17           |
| 1.5 Endüstri 4.0'ın Ekonomik Etkileri .....                      | 18           |
| İKİNCİ BÖLÜM.....                                                | 21           |
| 2. ENDÜSTRİ 4.0'IN SEKTÖRLERE ETKİSİ.....                        | 21           |
| 2.1 Endüstri 4.0'ın Sektörlere Etkisine Genel Bakış.....         | 21           |
| 2.2 Endüstri 4.0 Sürecinin Kamu Sektörüne Etkisi.....            | 22           |
| 2.3 Endüstri 4.0'ın İmalat Sektörüne Etkisi .....                | 23           |
| 2.3.1 Endüstri 4.0'ın Otomotiv Sektörüne Etkisi.....             | 23           |
| 2.3.2 Endüstri 4.0'ın Gıda Sektörüne Etkisi .....                | 25           |
| 2.3.3 Endüstri 4.0'ın Hazır Giyim-Tekstil Sektörüne Etkisi ..... | 26           |

|                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4 Türkiye’de Endüstri 4.0 .....                                                                                                 | 27        |
| 2.5 Dünya’da Endüstri 4.0 .....                                                                                                   | 29        |
| <b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM .....</b>                                                                                                         | <b>31</b> |
| <b>3. ENDÜSTRİ 4.0’IN LOJİSTİK BOYUTU: LOJİSTİK 4.0 .....</b>                                                                     | <b>31</b> |
| 3.1 Lojistiğin Tarihsel Gelişimi ve Önemi .....                                                                                   | 32        |
| 3.2 Lojistiğin Amacı .....                                                                                                        | 33        |
| 3.3 Temel Lojistik Faaliyetleri .....                                                                                             | 33        |
| 3.3.1 Depolama .....                                                                                                              | 33        |
| 3.3.2 Taşımacılık .....                                                                                                           | 34        |
| 3.3.3 Paketleme .....                                                                                                             | 34        |
| 3.3.4 Talep Yönetimi .....                                                                                                        | 35        |
| 3.3.5 Stok Yönetimi .....                                                                                                         | 35        |
| 3.3.6 Elleçleme .....                                                                                                             | 36        |
| 3.3.7 Satınalma .....                                                                                                             | 36        |
| 3.3.8 Müşteri Hizmetleri .....                                                                                                    | 37        |
| 3.5 Lojistik 4.0 Tarihi .....                                                                                                     | 38        |
| 3.5.1 Birinci Lojistik Devrimi (Lojistik 1.0) .....                                                                               | 39        |
| 3.5.2 İkinci Lojistik Devrimi (Lojistik 2.0) .....                                                                                | 40        |
| 3.5.3 Üçüncü Lojistik Devrimi (Lojistik 3.0) .....                                                                                | 40        |
| 3.5.4 Dördüncü Lojistik Devrimi (Lojistik 4.0) .....                                                                              | 41        |
| 3.6 Lojistik 4.0 Bileşenleri .....                                                                                                | 41        |
| 3.6.1 Nesnelerin İnterneti ve Lojistik .....                                                                                      | 41        |
| 3.6.2 Büyük Veri ve Lojistik .....                                                                                                | 42        |
| 3.6.3 Siber Fiziksel Sistemler ve Lojistik .....                                                                                  | 43        |
| 3.6.4 Otonom Robotlar ve Lojistik .....                                                                                           | 44        |
| 3.6.5 Üç Boyutlu Yazıcılar ve Lojistik .....                                                                                      | 45        |
| 3.6.6 Artırılmış Gerçeklik ve Lojistik .....                                                                                      | 46        |
| 3.6.7 Bulut Bilişim Sistemleri ve Lojistik .....                                                                                  | 47        |
| 3.6.8 Entegre Sistemler ve Lojistik .....                                                                                         | 49        |
| 3.6.9 Siber Güvenlik ve Lojistik .....                                                                                            | 54        |
| 3.6.10 Akıllı Fabrikalar ve Lojistik .....                                                                                        | 55        |
| 3.7 Endüstri 4.0’ın Lojistik Sektörüne Etkisi .....                                                                               | 55        |
| 3.8 Türkiye’de Lojistik 4.0 .....                                                                                                 | 57        |
| 3.9 Dünya’da Lojistik 4.0 .....                                                                                                   | 58        |
| 3.10 Lojistik 4.0 için SWOT Analizi: Lojistik 4.0 için Fırsatlar ve Tehditler ile<br>Lojistik 4.0’ın Güçlü ve Zayıf Yönleri ..... | 59        |
| <b>SONUÇ .....</b>                                                                                                                | <b>68</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                                                                                             | <b>71</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Sanayi Devrimleri.....                              | 3  |
| Şekil 1.2. Endüstri 4.0 Teknolojiler.....                      | 10 |
| Şekil 2.1. RFID teknolojisinin giysi üretiminde kullanımı..... | 27 |
| Şekil 3.1. Lojistik evriminin evreleri .....                   | 39 |



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Lojistik 4.0 Uygulamaları Fırsat ve Tehditleri ile Güçlü ve Zayıf Yönleri<br>..... | 62 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

**3D:** 3 Dimension (3 Boyut)

**ABD:** Amerika Birleşik Devletleri

**API:** Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arabirimi)

**AR-GE:** Araştırma ve Geliştirme

**AS/RS:** Automated Storage and Retrieval System (Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemi)

**BT:** Bilgi Teknolojileri

**CAD:** Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

**CAM:** Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)

**CAMP:** Cloud (Bulut), Analytical (Analitik), Mobility (Mobilité), Productivity (Verimlilik)

**CNC:** Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Kontrolü)

**CPS:** Cyber-Physical Systems (Siber Fiziksel Sistemler)

**CRM:** Customer Relationship Management (Müşteri İlişkileri Yönetim)

**DNC:** Direct Numerical Control (Doğrudan Sayısal Kontrol)

**GDPR:** General Data Protection Regulation (Genel Veri Koruma Yönetmeliği)

**IOT:** Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)

**ISIC:** International Standard Industrial Classification (Uluslararası Standart Endüstriyel Sınıflandırma)

**LEAPFROG:** Leadership for European Apparel Production from Research along Original Guidelines (Orijinal Yönergeler Boyunca Yapılan Araştırmalardan Avrupa Hazır Giyim Üretiminde Liderlik)

**MÜSİAD:** Müstakil Sanayici ve İş adamları Derneği

**OMS:** Order Management System (Sipariş Yönetim Sistemi)

**RFID:** Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı Tanımlama)

**SWOT:** Strengths (Güçlü Yönler), Weaknesses (Zayıf Yönler), Opportunities (Fırsatlar), Threats (Tehditler)

**TMS:** Transport Management System (Taşıma Yönetim Sistemi)

**TOBB:** Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

**TRAAS:** Technology Research Association for Automatic Sewing Systems (Otomatik Dikiş Sistemleri Teknoloji Araştırma Derneği)

**TTGV:** Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı

**TÜSİAD:** Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

**WMS:** Oracle Warehouse Management Cloud (Depo Yönetim Sistemi)

**YASED:** Uluslararası Yatırımcılar Derneği

## TEŞEKKÜR

İki yıllık yüksek lisans dönemi boyunca değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen, önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam, Doç. Dr. Işıl Şirin SELÇUK ÇAKMAK’a ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme ve arkadaşım Hale Bilge’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



# GİRİŞ

Endüstri 4.0, geleneksel endüstriyel üretim sistemlerinin dijital teknolojilerle birleştirilmesini ifade eder. Bu dönüşüm, yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), otomasyon, bulut bilişim gibi teknolojilerin kullanımını içerir. Bu teknolojilerin entegrasyonu, üretim süreçlerinde daha verimli, esnek ve akıllı bir yaklaşımı mümkün kılar. Endüstri 4.0'ın anahtar özelliklerinden biri, üretim süreçlerindeki dijitalleşmenin ve bağlanabilirliğin artmasıdır. Makineler ve sistemler birbirleriyle ve insanlarla etkileşime geçebilir, veri paylaşabilir ve kararlar alabilirler. Bu, üretimde daha hızlı yanıt verme, üretkenliği artırma ve daha fazla özelleştirilmiş ürünler sağlama potansiyeline sahiptir.

Endüstri 4.0'ın getirdiği fırsatlar arasında üretim süreçlerindeki verimliliğin artması, iş gücü maliyetlerinin azalması, ürün kalitesinin artması ve yenilikçiliğin teşvik edilmesi bulunur. Ancak, bu dönüşümün getirdiği zorluklar da vardır, özellikle güvenlik ve veri gizliliği gibi konularda endişeler bulunmaktadır.

Genel olarak, Endüstri 4.0, üretim sektöründe büyük bir dönüşümü temsil eder ve bu dönüşümün iş dünyası, ekonomi ve toplum üzerinde derin etkileri olabilir. Firmaların bu değişimlere uyum sağlaması için yeni teknolojilere yatırım yapması, çalışanları eğitmesi ve siber güvenlik önlemleri uygulaması gerekmektedir. Endüstri 4.0'ı benimsemek, hızla değişen piyasa koşullarında rekabet avantajları ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlayabilir. Dolayısıyla firmalar gelişen teknolojilerden yararlanarak ve yeni koşullara uyum sağlayarak operasyonlarını optimize edebilirler. Bu sayede firmaların hem maliyetleri azaltabilir ve hem de hizmet seviyelerini iyileştirilip tüketici memnuniyeti artırılabilir.

"Lojistik 4.0" terimi, endüstriyel lojistik ve tedarik zinciri yönetimi alanında dijitalleşme ve otomasyonun daha geniş kapsamlı kullanımını ifade eder. Bu kavram, dördüncü endüstriyel devrimin bir parçası olarak ortaya çıkmıştır ve geleneksel lojistik süreçlerini, ileri teknoloji, veri analitiği ve otomasyonla birleştirerek daha verimli, esnek ve akıllı bir lojistik ağı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Lojistik 4.0, internetin nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (AI), büyük veri analitiği, bulut bilişim, robotik ve diğer gelişmiş teknolojilerin entegrasyonunu

içerir. Bu teknolojiler, tedarik zinciri ve lojistik süreçlerindeki verimliliği artırmak, stok yönetimini optimize etmek, lojistik operasyonlarını izlemek ve yönetmek için gerçek zamanlı veri sağlamak gibi bir dizi fayda sunar.

Lojistik 4.0'ın temel unsurları arasında akıllı depolar, otonom taşıma sistemleri, akıllı envanter yönetimi, tahmin analitiği, lojistik ağlarının dijitalleştirilmesi ve müşteri deneyiminin iyileştirilmesi gibi özellikler bulunur. Bu yaklaşım, lojistik sektörünü daha sürdürülebilir, rekabetçi ve müşteri odaklı hale getirmeyi amaçlar. Benzer şekilde, Lojistik 4.0'ın doğru bir şekilde uygulanması firmaların hem değişen piyasa taleplerine uyum sağlamasına hem de günümüzün hızlı tempolu küresel ekonomisinde rekabet edebilir olmasına olanak tanır.

Bu doğrultuda, tezin ilk bölümünde sanayi devrimleri tarihsel bir süreç içinde incelenmiş olup, bölümün devamında Endüstri 4.0 kavramı detaylıca irdelenmiştir. İkinci bölüm, Endüstri 4.0'ın çeşitli sektörlerle etkisini genel bir bakışla değerlendirmekte ve tarım, kamu, özel sektörler, imalat, otomotiv, gıda ve tekstil sektörleri üzerindeki etkilerini açıklamaktadır. Ayrıca, Türkiye ve dünya genelinde Endüstri 4.0 uygulamalarına dair bilgiler sunulmaktadır. Tezin üçüncü bölümü ise Endüstri 4.0'ın lojistik boyutuna, yani Lojistik 4.0'a odaklanmaktadır. Bu bölümde, lojistiğin tarihsel gelişimi ve önemi, lojistik faaliyetler, sanayi ile lojistik arasındaki ilişki, Lojistik 4.0'ın tarihçesi ve bileşenleri, Türkiye ve dünya genelinde Lojistik 4.0'ın durumu ve lojistik sektörüne etkileri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca, bu bölümde farklı sektörlerde yer alan lojistik yöneticileri ile görüşmeler yapılmış ve yapılan SWOT analizi sayesinde Lojistik 4.0 uygulamalarının fırsatları, tehditleri, güçlü ve zayıf yönleri tartışılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında ise Lojistik 4.0'a dair değerlendirmeler ve öneriler yer almaktadır.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## 1. SANAYİ DEVRİMLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0 DEVRİMİ

### 1.1 Endüstri 4.0 Devriminin Tarihi Gelişimi

Sanayi devrimi ekonomi ve toplum için kök değişikliklere neden olan bir kavramdır. Sanayi devriminin başlangıcından itibaren teknolojinin geliştirilmesiyle verimlilikte artışlar olmuştur. 19.yüzyılda buhar motorunun keşfedilmesiyle imalathaneler güçlenmiş ve 20. yüzyılın başlarında elektrifikasyon ile seri üretime başlanılmıştır. 1970'li yıllarda sanayilerin makineleşmesinden sonra teknolojik gelişmelerden özellikle Bilgi Teknolojileri (BT)'nin dönüşümü çok daha fazla dikkat çekmiştir (Türkel ve Yeşilkuş, 2020).

Sanayi Devrimi günlük hayatımıza ışık tutan bir olay olmuş ve bu devrimler büyük gelişmeler getirmiştir. Şekil 1.1 sanayi devrimlerinin hangi yüzyıllarda nasıl olduğu hakkında bilgi vermektedir. Sanayi devrimlerinde Birinci Sanayi Devrimi su ve buhar gücü ile çalışan makineler ile başlamıştır, İkinci Sanayi Devriminde makinelere elektrikli sistemler entegre edilmiş ve seri üretimde kullanılmıştır, Üçüncü Sanayi Devriminde bilgi işletim teknolojilerine dayalı otonom üretim yapılmıştır, Dördüncü Sanayi Devrimi ise bütün bu teknoloji ve enerji kaynaklarına ek olarak; birbirleriyle haberleşen sistemlere dayalı akıllı üretim yapan bir devrimdir.



Kaynak: (Salğar, 2018)

Şekil 1.1. Sanayi Devrimleri

Dünya tarihinin son 300 yılını şekillendiren ve içine alan genel değişimlerin olduğu aşamalar olarak tanımlanan sanayileşme süreci, önce bölgeyi sonra dünyayı etkileyen kendi iç dinamiklerine sahiptir. Sanayileşme, ekonomik yapılar başta olmak üzere tüm toplumsal yapıları belirli koşullara ve iç dinamiklere göre şekillendiren güçlü bir etkiye sahiptir. Bu doğrultuda sanayileşme sürecinin, gelişim düzeyine göre üretim ilişkileri, istihdam yapıları, eğitim sistemleri gibi alanlarla organik olarak bağlantılı olması elzem hale gelmektedir. Sanayileşme süreci, toplumun tüm üstyapı kurumlarına temel bir döngüsel sıçramayı yansıtır (İşler, 2020).

Ekonomik kalkınmaya ciddi bir şekilde katkı sağlayan Sanayi Devrimi; her geçen gün daha da gelişen teknoloji ile günümüzdeki dijital ve yapay zekâ üretim sistemlerinin arkasındaki itici güç olarak önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak ülkelerin, ekonomik gelişme ve rekabet edebilirlikte kilit rol oynayan teknoloji üretim sistemlerini veya bu teknolojik ilerlemeye nasıl uyum sağlamaları gerektiğini yakından takip etmeleri gerekmektedir.

#### **1.1.1 Birinci Sanayi Devrimi: Endüstri 1.0**

Birinci sanayi devrimi ilk kez 18. Yüzyılda İngiltere’ de ortaya çıkmıştır. 1760-1830 yıllarını kapsayan bu devirde, hızlı nüfus artışı ve insanların kentlere göç etmesi ile şehirlerde ihtiyaç duyulan iş gücü artmıştır. Bu doğrultuda, sanayide su ve buhar gücü kullanılmaya başlanmış ve kısa sürede bu kullanım Batı Avrupa ülkeleri ve ABD’ de yayılmıştır (Gerçel, 2017).

Endüstri 1.0'da ilk kez kas gücünün yerini alan makineler ile makineleşme çağı başlamıştır. İnsan ve hayvan gücüyle sağlanan üretim artık su ve buharla çalışan mekanik tezgahlarda yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeyle birlikte küçük işletmeler fabrika haline gelmiştir. Bu önemli değişiklik, insanların yaşam kalitesini iyileştirmiş ve yaşam beklentisini artırmıştır.

1712'de yeni bir buhar makinesi geliştiren Thomas Newcomen, makinenin pistonunu zincir ile bir kola, kolu da bir su pompasına bağlamıştır. Newcomen’ in geliştirdiği bu makinede 1764 yılında arızalanan motorundan birini tamir eden James Watt ise motoru daha da geliştirerek iki odacıklı, valfli bir motora dönüştürmüştür. Bu odalardan birini sürekli soğuk diğerini de sıcak tutmuştur. 1781 yılında Watt makineye mekanik parçalar ekleyerek gelişime devam etmiştir. Yeni gelişmeler ile buhar motoru endüstriyel hale getirilmiştir. 17.yüzyılın sonlarında dokuma tezgahlarında geliştirilen bu motorların kullanılması ilk sanayi devrimi

olarak kabul edilmiştir. Demiryolu ağının yayılması ile Endüstri 1.0' ın yayılmasına neden olmuştur (Eğilmez, 2018).

Birinci sanayi devriminde iyi el işçiliği çıkaran çok fazla işçiye gereksinim duyulmuştur. Üretimin uzun sürmesi de bu dönem için ayrı bir dezavantajdır.

### **1.1.2 İkinci Sanayi Devrimi: Endüstri 2.0**

1840'lı yıllarda başlayıp 20. yüzyıla kadar devam eden İkinci Sanayi Devrimi; İngiltere, ABD, Almanya ve Japonya' dan dünyaya yayılmıştır. Birinci Sanayi Devriminde üretimdeki makineleşme sonrası, hammadde çeşitliliğinde büyük bir değişiklik olmuş ve buhar haricinde elektrik, çelik, petrol ve kimyasal maddeler hammadde olarak kullanılmıştır (Gerçel, 2017).

Elektriğin hammadde olarak kullanılmasıyla makineler geliştirilmiş ve seri üretimle birlikte üretim artmıştır. Seri üretime en önemli örnek; ilk defa Henry Ford'un Ford Motor Şirketi'nin kullanmış olduğu bant sistemidir. Otomobil üretiminde ilk zamanlarda şase tek parça şeklinde yapılır ve geri kalan tüm parçalar taşınarak şase üzerine monte edilirdi. Araba üretimi oldukça maliyetli bir süreçti. Zamanla arabalara talep arttı ve Henry Ford ünlü Model T'yi daha az maliyetle üretmenin yollarını bulmak için çeşitli yöntemler denemiştir. Ford'un gelişmesiyle 'Hareketli Montaj Hattı' ortaya çıkmıştır. Bu yöntemle hareketli bant üzerinde şase hareket etmekte ve diğer parçalar hareket eden şase üzerine montaj edilmiştir (Güzeliş, 2018).

Teknolojik Devrim olarak bilinen bu dönemin ortaya çıkmasında ulaşımın, özellikle demiryollarının gelişmesi etkili olmuştur. Bu, hammadde tedarikini kolaylaştırmış ve üretilen ürünlerin uzak yeni pazarlara teslim edilmesini sağlamış böylece ticaret kolaylaşmış ve büyük önem kazanmıştır. Telefon, telsiz, araba lastiği, bisiklet, daktilo gibi birçok nesne Endüstri 2.0 ile ortaya çıkmıştır. Haberleşme araçlarının gelişmesi ve daha etkin kullanılmasıyla insanlar arasındaki mesafeler azalmış ve şehirlere göçler artmıştır. Öncelikle Amerika, Almanya ve Japonya olmak üzere birçok ülkede olmak üzere siyasi ve ekonomik olarak güçlü merkezi devletler kurulmuştur (Güvenol vd., 2021).

İkinci sanayi devriminde ihtiyaç duyulan işçi sayısı ilk sanayi devrimine göre azalmıştır. Fabrikalarda çalışma alanları düzenlenerek birinci sanayi devrimine göre küçülmüş ve işçiler arasında iş bölümü artmıştır. Üretim hızı artarak seri üretime geçilmiştir.

### **1.1.3 Üçüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 3.0**

Üçüncü sanayi devrimi, İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlayan ve 1970'li yıllarda hızlı bir şekilde gelişerek 2010'a kadar süren bir devrimdir. Bu dönemde bilişim teknolojileri kullanımı ile üretim dijitalleşmiş ve sanayinin küreselleşmesi gerçekleşmiştir. Bilgi işlem ve haberleşme teknikleri ile bu tekniklerin ortak gerçekleştirme aracı olan mikro elektronik, üçüncü sanayi devrimin temel bileşenleridir (Davutoğlu, 2018).

Endüstri 3.0'ın diğer devrimlere göre daha geç bir zaman diliminde başlamasına neden olan İkinci Dünya Savaşı aynı zamanda, savaş sırasında geliştirilen teknolojiler sayesinde bu devrin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Bu dönemde üretim otomasyonlaşmış ve yazılımın gelişmesi ile de fiber optik, lazer, mikro elektrik ve bilgisayar gibi kaynakların gelişmesi üretimi üst düzeyde geliştirmiştir. Bu gelişmeler sonucu iletişim hızla yayılmış ve insanlar arasındaki mesafe engel olmaktan çıkmıştır (Güvenol vd., 2021).

Üçüncü sanayi devrimi sonucunda 3D yazıcıların gelişmesi ile otomotiv parçalarının üretiminde artış olmuştur. Otomasyonun artmasıyla da akıllı robotlar üretilmiş ve düşük maliyetlerle üretilen bu robotlarla üretimde verimlilik artmıştır bu süreçteki en önemli gelişmelerden biri de küresel kaynakların hızla tükenmesi ve sürdürülebilirlik kavramıdır. Birinci sanayi devriminde kömür, su ve buhar, ikincisinde ise petrol ve elektrik, üçüncü sanayi devriminde yenilenemeyen kaynakların kıtlığı ve çevresel kaygılar ile güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır.

Sonuç olarak 20. yüzyılın ilk yarısında iki dünya savaşı ve ulusal sınırların yıkılmasıyla şekillenen Üçüncü Sanayi Devrimi, önceki sanayileşme ve teknolojik ilerleme aşamalarına göre bir yavaşlama ile ortaya çıkmıştır. Bu anlamda sektör yeni gelişmeleri ancak krizin etkilerinin yatıştığı ve İkinci Dünya Savaşı'nın sona erdiği 1950'li yıllarda yakalayabilmiştir. 1950'lerde dijital teknoloji gelişmeye ve Üçüncü Sanayi Devrimi'nin temellerini atmaya başlamıştır (Davutoğlu, 2018).

Üçüncü sanayi devriminde el işçiliğine neredeyse hiç ihtiyaç duyulmamaktadır. Üretimde çalışan işçiler işlerini bu dönemde makine ve bilgisayar başında yapmaya başlamıştır.

### **1.1.4 Dördüncü Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0**

Dördüncü sanayi devrimi; gelişen teknolojik imkanlar ile, hızlı ve güvenilir aynı zamanda yenilikçi bir üretim şeklini içermektedir. 2011 yılında Hannover

Sanayi Fuarı'nda ilk kez bahsedilmiş olup takip eden yıllarda Endüstri 4.0 ile ilgili Alman Federal Hükümeti Yüksek Teknoloji stratejisini geliştirmek adına çalışmalar yapmıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ile üretim süreç sistemlerinde dijital dönüşüm gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu dijital dönüşüm ile sanayide; makineler, insan ve altyapı etkileşimiyle 'Akıllı Üretim Sistemi' doğmuştur. Endüstri 4.0, üretim aşamalarında makinelerin insan kontrolüne maruz kalmadan birbirleriyle etkileşime girdiği akıllı bir üretim ağıdır (Bağcı, 2018).

Bu devrimle birlikte tüm fiziksel sistemler otomasyonlu ve uzaktan kontrollü olması planlanmıştır. Üretim sistemlerinde aktif role sahip olan ve aynı zamanda insanlarla iletişim sağlayan yeni nesil robotlar ile sorunsuz bir şekilde çalışma beklenmektedir. Yapay zeka sayesinde bu robotların öğrenmeyi temel amaç kabul eden algoritmaları edinmesi dördüncü sanayi devrimi ile gerçekleşecektir (Arslan, 2020).

Makineden makineye iletişimin robot teknolojisi kullanılarak gerçekleştiği Endüstri 4.0'ın geleceği şekillendireceği düşünüldüğü için diğer devrimlerden farklı görülmektedir. Bu devrim ile çalışma şartları, yönetim, yeni iş alanları, istihdam, sosyal güvenlik sistemi ve sendikacılık gibi birçok alanda olumlu etkisi olacaktır. Dünyada etkili bir yer edinmek isteyen devletlerin Endüstri 4.0'ı mutlaka benimsemesi gerekir.

Teknolojik ilerlemeye bağlı olarak artan üretim verimliliği, Batı ülkeleri arasında ekonomik rekabet ve esnek üretim sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Ürünün eskisine göre daha kolay pazarlanabilecek durumda olması, Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasına neden olmuştur (Arslan, 2020).

Endüstri 4.0'ın temel hedefi, kendi kendine üretim mekanizmasını benimseyerek akıllı fabrikaların yaygınlaşmasını sağlamaktır. Üretim süreçlerinden insan faktörünü çıkararak, insan kaynaklı üretim hatalarının önüne geçilmesi sağlanır ve üretim aşamalarında standardizasyon sağlanır.

Kamber ve Sönmeztürk Bolatan'ın (2019) çalışmasına göre akıllı imalat sistemlerinde Endüstri 4.0 uygulamalarını geliştirmek ve kullanmak için 6 temel söz konusudur. Bu prensipler; birlikte çalışabilirlik, gerçek zamanlı yetkinlik, sanallaştırma, kişiselleştirme ve modülerliktir.

*Birlikte çalışabilirlik:* Sistemlerin, insanların ve üretim bilgilerinin koordine edildiği ve iletildiği fiziksel ağ sistemlerinde, sanal dünyada makineler, süreçler ve

insanlar arasında gerçek bilgiler aktarılır. Sanal ofisler ve uzaktan erişim ile zaman ve çalışma ortamı engelleri de ortadan kalkar.

*Gerçek zamanlı yetkinlik:* Hızlı veri işleme ve gerçek zamanlı karar verme gereklidir. Veri toplama ve analiz etme yeteneği olarak ifade edilir. Herhangi bir hataya karşı anında aksiyon alınmasını sağlar ve cihaza fiziki olarak yakın olunmasına gerek yoktur. Fabrika dışından müdahaleye olanak sağlar.

*Sanallaştırma:* Akıllı fabrikaların oluşturulması, sensörler kullanılarak tüm süreçlerin uzaktan veya ekrandan izlenmesini mümkün kılar.

*Kişiselleştirme:* Siber-fiziksel sistemler, gerçek zamanlı karar verme mekanizmalarıdır. Ayrıca sanal gerçeklik sistemlerinde makineler sadece iş emirlerini almakla kalmaz, aynı zamanda önemli üretim kararlarını da verir. Sonuç olarak, kritik üretim kararları tek bir kaynaktan alınmaz, makineler ve sistemler de süreci destekler.

*Modülerlik:* Müşterinin farklı ürün ihtiyaçlarına göre üretim sürecini değiştirebilmek için sistem yazılımının makinelerin özelliklerini analiz edebilmesi ve makinelere kolayca farklı görevler atayabilmesi gerekir (Kamber & Sönmeztürk Bolatan, 2019).

Dördüncü sanayi devriminde üretim prosesleri üretim bandı etrafında bulunan robot kollarla gerçekleşeceği için minimum işçi ile üretim yapılmakta ve üretim ile gelir optimum seviyeye kolaylıkla ulaşabilmektedir.

## **1.2 Endüstri 4.0 Yapısı**

Endüstri 4.0, birçok otomasyon sistemini, veri alışverişini ve üretim teknolojilerini içeren dördüncü sanayi devrimidir. İş süreçlerinin internet teknolojileri kullanılarak bilimsel ve veri odaklı olarak yapıldığı yeni nesil bir sanayi devrimidir. Endüstri 4.0 teknolojisinde üretim alanı kaynakları kendi internet adresleri ile tanımlanır. Tüm süreçlerin ve üretilen verilerin saklandığı, özel formüller ve algoritmalarla işlendiği ve süreçteki verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmesi için veri madenciliğinin kullanıldığı bir sistem mevcuttur. Endüstri 4.0 teknolojileri, otonom üretim süreçlerinin ve akıllı üretim altyapılarının kurulduğu sistemlerdir. Amacı, tüm donanım ve yazılımları sisteme entegre etmektir.

Bu devrim temel olarak Nesnelerin İnterneti, İnternet Hizmetleri ve Siber-Fiziksel Sistemlerden oluşmaktadır.

*Nesnelerin İnterneti*; Bu bağlamda nesne kavramı oldukça geniş bir anlam içerir. İzleme cihazlarının tamamı, sensörler, erişim düzenekleri ve biyoçipler nesne olarak adlandırılır ve her nesnenin internet erişimi sağlayarak diğer cihazlarla iletişim kurabilmesi için tasarlanmıştır.

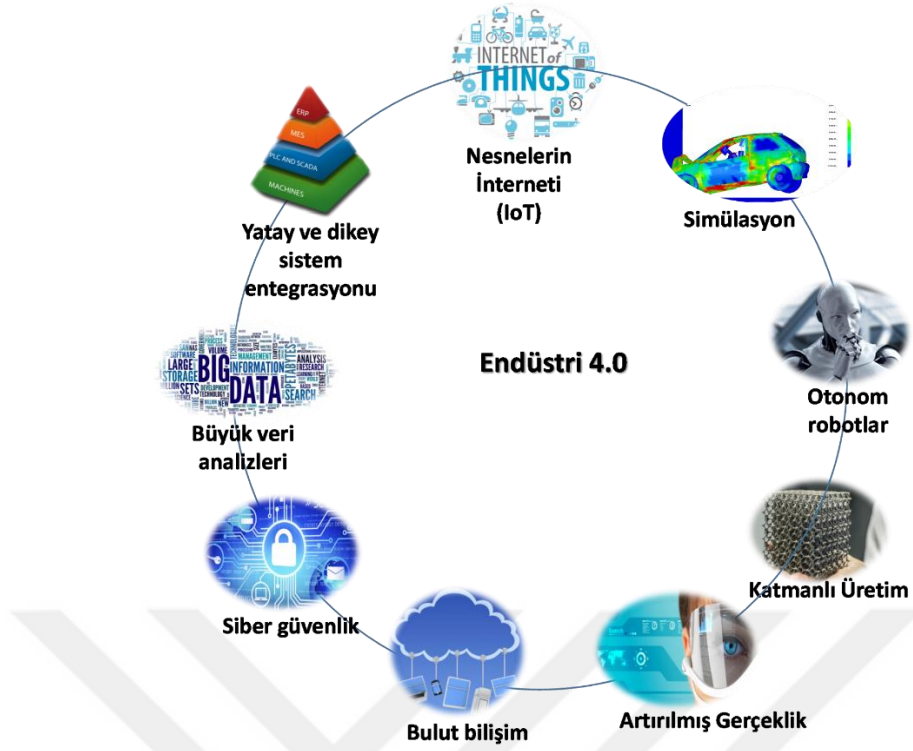
*Hizmetlerin interneti*; Ortaya çıkan yeni hizmet alanlarıdır ve internet üzerinden hizmet veren kişiler ile hizmet alan kişiler arasındaki iletişimi sağlayacak yazılımın ve hizmetlerin kendisidir. Bulut sistemleri ve e-posta hizmetleri gibi hizmetlerdir.

*Siber - Fiziksel Sistemler*; Belirli görev ve işlevler için fiziksel ve gerçek dünyayı sanal ortamda siber uzaya bağlayan sistemlerdir. Üretim süreçlerini insanlardan bağımsız olarak organize eder, planlar ve geliştirir. Fiziksel süreçlerden bilgi toplayarak üretim süreçlerine uyarlayan bilgisayar yazılımları sistemin siber kısmını oluşturur. Siber-fiziksel sistemler gelişmiş ülkelerde Endüstri 4.0'ın temel taşıdır.

### **1.3 Endüstri 4.0' ün Temel Teknolojileri**

Endüstri 4.0 sadece akıllı ve bağlantılı sistemler üzerinde değil nanoteknoloji, yenilebilir enerji, kuantum bilgi işlemeye kadar birçok alanda yeniliklerin gelmesini sağlar. Değişim alanlarının birleşmesi, fiziksel, biyolojik ve dijital alanlarda karşılıklı etkileşim sağlayarak daha önceki devrim niteliğindeki süreçlerden farklılık göstermektedir. Tüm gelişmeler ve yeni teknolojilerin ortak özelliği, dijitalleşmeyi ve bilgi teknolojisini temel bir bileşen olarak kullanır (Arslan, 2020).

Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0), bulut teknolojileri, siber güvenlik sistemleri, robotik sistemler, nesnelerin interneti, simülasyon, artırılmış gerçeklik, katmanlı üretim (3D yazıcı) ve büyük veri gibi temel konuları içermektedir. Şekil 1.2'de Endüstri 4.0'ın teknolojileri verilmiştir.



**Kaynak:** (Eldem, 2017)

**Şekil 1.2.** Endüstri 4.0 Teknolojiler

Sistemin genel bir sonucu; ürünlerin pazara çıkış sürelerinin kısalması, makine bakım maliyetlerinin azalması, operasyonel verimliliğin artması, makine kullanımının artması, bilgi teknolojilerinin etkinliğinin artması, işletme sahipliğinin artması, proaktif otomasyon süreçleri ile stok maliyetlerinin düşürülmesi ve kalite maliyetlerinin düşürülmesidir (Kamber, 2019).

Endüstri 4.0, farklı dijital teknolojiler ile yeni malzeme ve süreçlere kadar pek çok teknolojinin bir araya gelmesidir. Tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratma gücüne sahip olan bu teknolojilerin entegre etmek dışında, daha sürdürülebilir bir ürün veya hizmet oluşturmak için gelecekte müşteri ihtiyaçlarını, kaynaklarının ve verilerinin nasıl toplanacağını, paylaşılacağını, kullanılacağını, çoğaltılacağını ve geri dönüştürüleceğini de içeren sanayi devrimidir.

### 1.3.1 Bulut Bilişim Sistemleri

Bulut bilişim; uygulama ve servislerin internetteki sunucularda tutulması ve bu uygulamaların internete bağlı herhangi bir cihaz üzerinden komuta edilebilmesidir. Bulut bilişimde, bilgiler internette paylaşılan sunucularda depolanır. Depolanan veriler sunucu üzerinde kullanılarak istemciye gösterilir ve değişiklik yapılabilir (Yüksel, 2012).

Bulut bilişimin altyapısını oluşturan teknolojiler; web hizmetleri, sanallaştırma (virtualization) ve ızgara (grid) bilişimdir. Bu teknolojiler ile bulut bilişim hayata geçmiş ve gelişmiştir.

Web servisleri, internet üzerinden erişilebilen platformdan bağımsız, otonom yazılımlardır. Sanallaştırma teknolojisi, az sayıda fiziksel makine üzerinde çok sayıda sanal makine oluşturarak mevcut donanım kapasitesinin daha verimli kullanılmasını sağlar. Izgara bilişimi ise; yüksek hızlı bilgisayar ağları kullanan coğrafi olarak dağınık bilgisayarlar arasında bilgi işlem, depolama, bellek ve diğer kaynakların paylaşımıdır. Bu sayede farklı lokasyonlardaki bilgisayarların kullanılmayan kapasitesi daha büyük bilgisayarlar oluşturmak için kullanılır (Seyrek, 2011).

Bulut bilişimin avantajları; bulutta çalışan bir uygulama için en güçlü kişisel bir bilgisayar yerine minimum kaynak olan hafif, taşınabilir ve uygun fiyatlı bir netbook yeterlidir. Bu sayede düşük donanımla aynı performansı elde etmek düşük donanım maliyetine katkı sağlayarak toplam maliyetleri düşürecektir. Dolayısıyla, geleneksel programlara göre daha az sistem kaynağı tüketilerek herhangi bir performans kaybına sebep olunmamaktadır. Gerekli tüm işlemler bulutta gelişmiş performans ile yapılır.

Bulut Bilişim ile her bilgisayar için ayrı yazılım alınmaz ve sadece kullanıcının ihtiyaç duyduğu uygulama için satın alma yapılır. Büyük şirketlerdeki program kurulumları ve yönetimleri yüksek maliyet içerir, bulut bilişim ile programları yükleme ihtiyacı yoktur ve şirkete bir maliyet yüklemeyiz. Ayrıca yazılımları satın alma yerine daha düşük maliyetli olan kiralama yapılabilir ve düşük yazılım maliyetlerine olanak sağlar. Web uygulamasının yeni sürümü kullanıldığında veya bir güvenlik sorunu olduğu için bu güvenlik açığını kapatmak amaçlı güncelleme yayınlandığında, işletmenin ayrıca ücret ödemesine ve bu işlem için teknisyen bulundurmasına gerek kalmadan anında güncelleme yapılır. Bulut bilişim sınırsız depolama alanı sağlamaktadır.

Bulut bilişim ile tüm bulut verilerinin bir kopyası otomatik olarak başka bir sunucuya kopyalanır bu sayede artırılmış veri güvenliği ile verilerin internette saklanması sağlanır ve herhangi bir veri kaybı yaşanmaz. Bir Windows bilgisayardaki dosyalar ile bir Mac veya GNU/Linux bilgisayardaki dosyalar arasında bir ağ bağlantısı kurmak zordur. Bulut Bilişim'de veriler sunucu üzerinde bulunduğu için bu dosyalara herhangi bir işletim sistemi ile sorunsuz bir şekilde

erişilir. İşletim sistemleri arasında geliştirilmiş uyum sağlanır. Bulutta oluşturulan bir belge başka bir bilgisayarda da aynı formatta görünmekte ve çalışmaktadır. Arttırılmış dosya formatı uyumu sağlanır (Yüksel, 2012). Bulut bilişimin en büyük avantajlarından biri de birden çok kullanıcının aynı belgeyi aynı anda düzenleyebilmesi ile sağlanan grup çalışmasıdır.

Bulut bilişimin dezavantajları; teknolojik değişime bağlı kalmak ve uygulama ve geliştirme maliyetlerinin fazla olmasıdır. Aynı zamanda iş gücünde yetenekli personele ihtiyaç duyulur ve güvenlik ve veri korunması konusunda tehditler dezavantajdır.

### **1.3.2 Katmanlı İmalat-3D Yazıcı**

Kademeli üretim (additive manufacturing) olan bilgisayar tasarımı veya 3D modelli tasarım, imal edilecek parçaya bağlı olarak çeşitli malzeme tüketimi ile hızlı bir şekilde kalıba ihtiyaç duymadan üretim yapan bir cihazdır. Bu cihazlar makine, tarım, otomobil ve tıp gibi büyük alanlarda kullanılmaktadır. Pratikliği ve ekonomiyi öne çıkaran sektörlerin yanı sıra oyuncak, kırtasiye vb. birçok alt sektörde kullanımı yaygındır (Sezer vd., 2021).

Eskiden genel modelleme için kullanılan 3 boyutlu yazıcılar artık neredeyse tüm mekanik parçaların baskısında kullanılmaktadır. 3D yazıcının ilk uygulaması 1984 yılına kadar dayansa da son yıllarda kullanımı ve popülaritesini artırmıştır. Farklı tip ve tekniklerle basılabilir olması geniş bir kullanım yelpazesine izin verir. Bu çeşitlilik ve 3D baskının popülaritesi, uzmanlar ve bilim adamları tarafından devrim niteliğinde bir gelişme olarak görülmektedir (Akbaba ve Akbulut, 2021).

### **1.3.3 Nesnelerin İnterneti (IoT)**

"Internet of Things" teriminin Türkçe karşılığı olarak sunulan Nesnelerin İnterneti (kısaca IoT), günlük yaşamdaki nesnelerin diğer nesnelerle veri alışverişinde bulunmasını ve birbirleriyle mükemmel bir şekilde senkronize olmasını sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, ortamdaki verilerin toplanmasını, iletilmesini ve işlenmesini sağlayan akıllı internet özellikli cihazlardan oluşur. IoT cihazları, bulut sistemlerine veya verileri analiz edebilen diğer uç cihazlara bağlanmak ve verileri paylaşmak için toplanan verileri ağ geçitleri aracılığıyla aktarır. IoT cihazları, işlerinin büyük bir kısmını insan müdahalesi olmadan, birbirlerinden aldıkları bilgilere göre ilgili diğer cihazlarla iletişim kurarak gerçekleştirirler.

IoT teknolojileri, inşaat, lojistik, akıllı şehirler, imalat, taşımacılık, sağlık, kamu sektörü ve ticari uygulamalar gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, akıllı araçlar, çevrimiçi haritalar, konum paylaşma, mesajlı alarm sistemleri, internet erişimi ve ses-video içeriği gibi uygulamaları içermekte olup, akıllı ev güvenlik sistemleri ve akıllı şehirler gibi uygulamalarla kullanılmaktadır. Akıllı ev güvenlik sisteminde, buzdolabı, aydınlatma, fırın, ısıtma ve klima gibi birçok öğeyi uzaktan izleme ve kontrolüne olanak sağlar. Akıllı şehir uygulamalarında ise yangın söndürme sistemleri, çöp konteynerlerinin doluluk oranları, otoparkların doluluk kontrolleri, gürültü seviyesi, şehir trafik yoğunluğu, hava kirliliği gibi IoT uygulamaları vardır (Gündüz ve Daş, 2017).

IoT'nin avantajları; personelin azalan emeğine karşın üretkenliğindeki artış, verimli bir operasyon yönetimi, kaynakların ve varlıkların verimli kullanımı, uygun maliyetli operasyonlar, geliştirilmiş iş güvenliği, kapsamlı iş geliştirme, iyileştirilmiş müşteri hizmetleri ve mevcut müşteriyi elde tutma, daha iyi iş fırsatları, şirketin daha güvenilir imajı olmasıdır.

IoT'nin dezavantajları; güvenlik açıkları, ilişkili maliyetler, güç kaynağı bağımlılığı, ağ bağımlılığıdır.

#### **1.3.4 Büyük Veri ve Veri Analitiği**

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte internet araçları ve sosyal medya günlük hayata hâkim olmaya başlamış ve bununla birlikte kolay ulaşım sağlanmıştır. Artan erişim ve bilgi paylaşımı yanlış bilgilendirme sorununu da artırmaya başlamış ve bilgi çöplüğüne sebep olmuştur. Büyüyen teknoloji fırsatlarıyla son derece yoğun bilgilerin depolandığı bu bilgi dökümünden değerli ve güvenilir bilgiler seçilir ve saklanır. Bunu saklayabilmek ve işleyebilmek için gerçekleşen süreç “büyük veri” kavramıdır (Arslan, 2020).

Büyük veri, tamamen gerçek verilerin analizine dayalıdır ve birçok alanda daha iyi kararlar verilmesini sağlar. Özellikle müşteri davranışlarına göre strateji geliştirmesine olanak sağlar. Mevcut verileri olabildiğince basit ve eyleme geçirilebilir hale getirdikten sonra, bu veriler aralarındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için karşılaştırmalı yöntemler kullanılarak araştırılır. Bu sayede verilecek kararların sonuçlarını önceden tahmin edilebilir. Verilerdeki farklı noktaların yerleri değiştirilerek oluşturulan simülasyonlar, farklı kararlara nasıl tepki verdiklerini gösterir.

Büyük veri her yerde kullanılabilir, özellikle bankacılık, pazarlama ve perakende sektörleri gibi müşteri davranışlarının önemli olduğu ve takip edilmesi gereken sektörlerde son yıllarda kullanım sıklığı hızla artmaktadır. Benzer şekilde büyük veri sağlık alanında; hastalıkların erken teşhisi ve yeni ilaç geliştirme için kullanılmaktadır. İlerleyen yıllarda suçun önlenmesi ve eğitim sisteminin iyileştirilmesi için de kullanılması söz konusu olabilecektir.

#### **1.3.5 Siber Güvenlik**

Birçok kritik uygulamanın altyapısında merkezi kontrol ve veri toplama sistemleri kullanılmakta ve bu uygulamalar giderek siber saldırıların hedefi olmaktadır. İşletmeler, bilgi teknolojilerinin verimli kullanımı, akıllı cihazlarla kesintisiz iletişim ve verilerin yetkisiz kişilerin eline geçmemesi için siber güvenlik uzmanlarıyla çalışmalıdır.

Bilgisayar güvenliği veya bilgi teknolojileri (BT veya IT) güvenliği olarak da bilinen siber güvenlik; bilgisayar sistemlerinin yazılımına, donanımına ve bilgilere zarar gelmesinden, faydalanılan hizmetlerden mahrum kalınmasından korunma olarak tanımlanmaktadır. Güvenlik önlemleri sadece gelen tehditleri önlememeli, aynı zamanda gelecekteki tehditlere karşı strateji ve önlem almalıdır.

#### **1.3.6 Siber Fiziksel Sistemler**

Fiziksel ve siber dünyalar arasındaki iletişim ve koordinasyonu içeren yapının tamamına Siber Fiziksel Sistemler (CPS) adı verilir. CPS'nin ana görevi, üretimin çevik ve dinamik taleplerini karşılamak ve tüm endüstrinin etkinliğini ve üretkenliğini artırmaktır. Endüstri 4.0, İnternet ile sözde CPS arasındaki benzeri görülmemiş bağlantı ile karakterize edilir. Fiziksel ve sanal dünyaları birbirine bağlayan bir sistem olarak görülebilir. Daha doğrusu, “siber-fiziksel sistemler, üretim süreçlerinde tamamen yeni bir kontrol, gözetim, şeffaflık ve verimlilik düzeyi sağlayan fiziksel süreçlerin ve hesaplamaların entegrasyonudur. Bir CPS, birden çok sensör, aktüatör, kontrol işlem birimi ve iletişim cihazı içeren bir ağı entegre eder (Yıldız, 2018).

#### **1.3.7 Artırılmış/Sanal Gerçeklik**

Artırılmış gerçeklik, akıllı telefonlar, tabletler ve sanal gerçeklik gözlükleri sayesinde ses, görüntü, animasyon ve bilgisayar tarafından oluşturulan hologram gibi dijital öğeleri gerçek zamanlı olarak bulunduğumuz ortama yerleştirerek yeni algısal ortamlar oluşturmaktadır. Bu zengin yeni ortam sayesinde, gerçekte fiziksel olarak konumlandırılmayan nesneler ve olgular, artırılmış gerçeklikte sanal olarak

algılanabilir hale gelir. Artırılmış gerçeklik; insanların gerçek dünyayı algılamasıyla ilgili metin, resim ve video gibi bilgisayar tarafından üretilen materyalleri yansıtan geniş bant teknolojisi olarak tanımlanabilir (Bingöl, 2018).

Artırılmış gerçeklik ile sanal gerçeklik arasındaki fark, artırılmış gerçekliğin gerçek dünya ile bağlantıyı kesmemesidir. Artırılmış gerçeklik, insanlara ek yetenekler vererek gerçek dünyanın algılanan gücünü artırır (İlhan, 2020).

Artırılmış gerçeklik, son zamanlarda birçok şirketin düşündüğü ve yatırım yaptığı bir teknoloji olup uygulamaların daha da gelişmesiyle birlikte uygulama alanı da genişlemiştir. En çok kullanılan alanlar; pazarlama alanı, emlak sektörü, turizm sektörü, lojistik sektörü, inşaat sektörü, cihaz kurulum ve tamiri, oyunlar, dekorasyon, alışveriş ve eğitim alanıdır.

#### **1.3.8 Simülasyon**

Simülasyon, gerçek dünyada var olan bir fiziksel sistemden verileri sanal ortama aktararak gerçek bir sistemin özelliklerini izlemek için altyapı oluşturan bir modelleme tekniğidir. Geliştirme sürecini izlenebilir hale getirebildiği için; zaman, maliyet ve risk yönetimi avantajları sunar. Simülasyonun amacı, sanal dünyanın olanaklarını öngörmek ve gerekli hazırlıkları planlamaktır.

Simülasyon, tüm fiziksel sistem verilerinin dijital ortamda modellenmesi ile mümkündür. Karşılaşılan yeni durumlara yönelik hazırlanan planlar sayesinde, üretimden ticarete, sağlıktan eğitime, gerekli müdahale kararlarının alınmasında her alanda kullanılabilen bir yöntem haline gelmiştir (Çelen, 2017).

#### **1.3.9 Endüstriyel Robotlar**

Endüstriyel robotlar, insan işçilere çeşitli üretim görevlerinde yardımcı olabilen veya tek başlarına çalışabilen yeniden programlanabilir otonom veya yarı otonom fonksiyonel makinelerdir. Nesneleri önceden programlanmış hareketlerle manipüle ederek yalnızca mekanik ve tekrarlayan görevleri gerçekleştirebilir. Çalışmalarını optimize etmek ve yapay zekâ sayesinde davranışlarını çevreye uyarlamak için veriler toplanabilir, işlenebilir ve makinelere beslenebilir.

Endüstriyel robotlar diğer bir ifadeyle otonom robotlar; otomatik iş yapan bir robot değil, belirli bir zekâ düzeyine sahip robot sistemi olarak tanımlanmaktadır. Robotik sistemlerde otonom robotların önemi ve teknolojinin mevcut durumu, Endüstri 4.0'da hangi görevlerin gerçekleştirilebileceğinin önemli bir göstergesidir (Yazıcı, 2016).

Endüstriyel robotların kullanıldığı uygulamalar; taşıma, paletleme, kesme, son işlem, sızdırmazlık ve yapıştırma, püskürtme ve kaynaktır.

Avantajları; insanların fiziksel özelliklerini zorlayan ağır ve önemli işleri yapabilmeleri, insan sağlığına olumsuz ve tehlikeli koşullarda çalışabildikleri için işyerinde güvenliği artırması, ürün kalite standartlarını yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik ile koruması, imalat hatalarının sayısını azaltması, hammadde israfını önlemesi ve üretim maliyetlerini düşürmesi, yeniden programlama ile yeni işlere kolayca uyum sağlayabilmesi, verimlilikten ve ürün kalitesinden ödün vermeden sürekli monoton, sıkıcı ve yorucu işleri yapabilmesi, erişim, yönetim, uzaktan kontrol, aynı ortamda akıcı ve hızlı bir şekilde birlikte çalışabilmeleridir. İş güvenliği, sağlık, eğitim, sigorta ve daha fazlası için düşük maliyetle ucuz işçilik sağlarlar.

Dezavantajları; işçiliği çok ucuza getirdikleri için işsizliğe yol açabilirler, normal işlemler sırasında yanlış veri varsa hep yanlış ürün oluşmaktadır, yanlış programlanırlarsa insanlar için tehlikeli sonuçlara yol açabilirler, askeri alanda kullanıldıklarında kitle imha silahı görevi görebilirler, bireyin sosyalleşme ihtiyacını giderdiği için sosyalleşme sürecini sekteye uğratabilir, çok sayıda teknik donanımına sahiptir ve daha fazla bakıma ihtiyaçları vardır (Baylan, 2019).

#### **1.3.10 Akıllı Fabrikalar**

Akıllı fabrikada tüm süreçler, süreç otomasyonu ve kendi kendini iyileştirme ile mümkün kılınmıştır. Mekanik, donanım tabanlı iş ortamları olarak tanımlanan bu ortamlar, veri alışverişi yapabilen ve fiziksel ve sanal dünyaları entegre edebilen modern üretim tesisleridir. Ürün entegrasyonunu, bilgi ve iletişim teknolojisini üretim ve teslimat süreçlerine entegre eden akıllı fabrikalar mevcut fabrikalara kıyasla kaynak tüketimi önemli ölçüde azaltır, özel ürünler için depolama ve teslimat döngüsü kısaltır ve müşteri talebini karşılamaya yönelik üretim sağlayabilir.

Geleneksel fabrikalara internet, yapay zeka, büyük veri analitiği gibi uygulamaların entegre edilmesi ile ortaya çıkan akıllı fabrikalar, teknoloji tabanlı olma avantajı nedeniyle üretim alanında yüksek rekabet gücü, performans etkinliği, yüksek üretkenlik, daha düşük maliyet, kalite, inovatif iş modelleri, çalışma şartlarında iyileşme, daha fazla esneklik ve yüksek güvenlik gibi önemli avantajlar sağlar (Şekkeli ve Bakan, 2018).

#### 1.4 Endüstri 4.0'ın Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Teknoloji her geçen gün daha da ilerlerken; ürünlerin güvenilir, sağlam ve hızlı bir şekilde üretilmesi önem kazanmaktadır. Endüstri 4.0'da amaç, fabrikalarda bilgisayar kontrollü üretim süreçlerini ilerletmek, siber-fiziksel sistemleri entegre etmek ve hızlı bir şekilde ürünleri müşterilere tanıtmaktır. Bu teknoloji sayesinde maliyetler düşürülmekte ve müşteri için yapılan ürünler daha ucuza mal olmaktadır. Bu amaçla yapılan Endüstri 4.0 tabanlı üretimin hem avantaj hem de dezavantajları vardır (Tonga ve Tonga, 2022).

Endüstri 4.0'ın avantajları;

- Üretim süreçlerinde artan esneklik.
- Artan üretkenlik.
- Hata oranı düşük homojen ürünlerin devamlılığını sağlar.
- Yeni hizmetlerin ve iş modellerinin geliştirilmesi.
- Çevre dostu ve daha az kaynak kullanan politikaların istikrarını sağlamak.
- Sistem izleme ve hata bulma sürecini kolaylaştırmak.
- Üretim maliyetlerinde önemli azalma.
- Çalışanla ilgili hataları ortadan kaldırmak.
- İşçiliği en aza indirerek makine enerjisinin kullanılmasıdır.

Endüstri 4.0'ın dezavantajları;

- Otomasyona dahil olan cihaz sayısındaki artış nedeniyle veri güvenliği sorunları oluşur.
- Üretim sürecindeki siber-fiziksel etkileşimlerden kaynaklı siber güvenlik sorunları oluşur.
- Üretim sürecinde insan faktörünün ortadan kalkması ile kalite sürekliliği daha da önem kazanır.
- Robotların akıllı fabrika üretimine dahil olması, insanları dışlayarak işsizlik ve istihdam sorunlarına yol açar.
- Teknik sorunları çözmenin uzun vadede maliyetli olması.
- Gelişen pazar ortamında rekabet açısından tüm üreticilerin etkilenmesidir (Tonga ve Tonga, 2022).

Endüstri 4.0 devrimi sürecinde, üretimde kalite, esneklik ve müşteri odaklı üretim, eskisinden daha yüksek müşteri memnuniyeti ve daha yüksek verimlilik sağlar. Bunlar devrimin avantajları olarak görülürken, teknolojik değişime yüksek

oranda bel bağlaması, yüksek uygulama ve geliştirme maliyetleri, vasıflı iş gücüne ihtiyaç duyması, siber güvenlik ve mahremiyet tehditleri gibi faktörlerin devrimin olumsuz tarafları olduğu düşünülmektedir (Arslan, 2020). Bu dezavantajlara rağmen, Endüstri 4.0'ın tartışılmaz avantajları sayesinde, bu teknolojileri etkin bir şekilde özümseyen firmalara pazarda rekabet avantajı sağlamaktadır. Dolayısıyla firmaların dördüncü sanayi devriminin faydalarından tam olarak yararlanabilmeleri için bu zorlukları dikkatle değerlendirmeleri gerekmektedir.

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin yeni üretim sistemlerinin neden olduğu değişiklikler, üretim ve hizmet süreçlerinde yeni gereksinimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Devrim niteliğindeki süreçten doğan gerekliliklerden bazıları;

- Bir bilgi teknolojisi veri tabanı oluşturmak gereklidir.
- Bilgisayar bilimi konusunda eğitim almış vasıflı işçiler gerektirir.
- Akıllı makineleri çalıştırabilen insanlara ihtiyaç vardır.
- Farklı disiplinler arası bilgiye sahip personele ihtiyaç vardır.
- Üretim teknolojisinden elde edilen verileri analiz edebilen insan kaynağına ihtiyaç vardır.
- Olası siber saldırılara karşı güçlü bir güvenliğe ihtiyaç vardır.
- Bu devrimle birlikte bazı meslekler ortadan kalkacak ve yeni işler ortaya çıkacaktır.
- Şirketlerin pazarda söz sahibi olmak için daha rekabetçi hale gelmeleri gerekmektedir.
- İşletmeler, devam edebilmek için devrimin taleplerini yönlendirmek zorunda kalacaktır (Arslan, 2020).

### **1.5 Endüstri 4.0'ın Ekonomik Etkileri**

Sanayi devrimleri sırasında teknolojik buluşların imalat faaliyetlerinde kullanılmasıyla verimliliği artırdıkları ortaya çıkmış ve Dördüncü Sanayi Devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0'da da odak noktası diğerlerinden farklı olmamıştır. Endüstri 4.0, robotik üretimi destekleyen, birbiriyle haberleşen, sensörler ile çevreyi algılayan ve verileri analiz ederek anlık ihtiyaçları fark eden, ucuz, kaliteli, hızlı ve daha az atık üretime yöneliktir (Sert vd., 2019; Saatçioğlu vd., 2018). Endüstri 4.0'ın üç temel amacı; esneklik, kişiye özgü çözümler ve hıza bağlı olarak;

- Kaliteli, hızlı, ucuz ve daha verimli üretim yapabilmek,
- Enerjiden tasarruf sağlamak,

- İsrarı en aza indirgemek,
- Üretim alanlarının daha verimli olarak kullanılmasını sağlamak,
- Güvenli bir şekilde çalışma hızını arttırmak,
- Rekabet üstünlüğünü sürdürülebilir kılmak amaçlarını içermektedir (Saatçioğlu vd., 2018).

Endüstri 4.0 sağladığı faydalar nedeniyle önem taşımaktadır. Daha esnek davranarak ve pazar gelişmelerine daha kolay yanıt vererek üreticilerin günümüzün zorluklarını karşılamalarına olanak sağlar. Yenilik hızını artırarak ve müşteri odaklılığı artırarak tasarım sürecini hızlandırır. Çalışanlar, üretim tesislerinin koordinatörleri haline gelebilir ve daha iyi bir iş-yaşam dengesine sahip olurlar.

Endüstri 4.0 uzun vadede sürdürülebilirdir ve ortaya çıkan zorluklara çözüm bulunmasına yardımcı olur. Buna ek olarak Endüstri 4.0, kendi kendini yapılandırma, izleme ve iyileştirme gibi otomatik yeteneklere sahip akıllı sistemler aracılığıyla üretim ekosistemlerinin kontrolünü mümkün kılarak benzeri görülmemiş düzeylerde operasyonel verimlilik elde eder ve üretkenliği artırır. Makineler ve insanlar arasındaki iş birliği, siparişlerin yerine getirilmesine odaklanan yeni tür gelişmiş üretim ve endüstriyel süreçler yaratır.

Akıllı fabrika üretim sistemlerinin amacı birden fazla çeşit ürünü aynı anda işlemektir. Bantlı konveyör kapalı bir devredir ve çeşitli üretim rotalarını barındırır. Akıllı üretim sistemleri, makineleri, bilgi sistemlerini, ürünleri ve insanları yüksek hızlı ağ sistemleri aracılığıyla birbirine bağlar. Akıllı üretim sistemleri birden fazla ürün üretebilmektedir (Gedik, 2021).

Tedarik zinciri ve lojistikte küresel olarak ortaya çıkan yeni bir trend, dijital tedarik zincirlerine odaklanan tedarik zinciri yapılarıdır. Üretilen mal, hizmet ve tüm bilgi akışlarının üretim noktasından son tüketiciye kadar verimli ve etkin bir şekilde taşınması ve depolanması süreci olarak tanımlanan lojistik operasyonları, teknolojiye ilerlemelerle birlikte yeni boyutlara ulaşmaktadır. Özellikle ticari verimliliğin artırılması ve müşteri beklentilerinin daha iyi karşılanması açısından lojistik operasyonlarının önemi giderek artmakta ve bu yaklaşımdan önemli ölçüde etkileneceği tahmin edilmektedir.

Yeni bilgi, iletişim ve sensör teknolojileri sayesinde lojistik süreçlerde kullanılmak üzere verilerin toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanması giderek daha mümkün hale gelmektedir. Fiziksel nesneler ile sibernetik yaklaşımların,

özellikle de siber-fiziksel sistemlerin birleşimi, lojistik sistemlerinin ölçülebilirliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini önemli ölçüde artırmıştır.

Endüstri 4.0, lojistiğin 7 gerçeği olarak bilinen, doğru ürünün, doğru miktarda, doğru biçimde, doğru zamanda, doğru kaynaktan, doğru yolla ve doğru fiyatla sağlanmasına yönelik tüm süreci etkileyecek ve yeniden şekillendirecektir. Bunun temel nedeni Endüstri 4.0 yaklaşımının bu süreçlerin birbirleriyle gerçek zamanlı olarak iletişim kurması ilkesine dayanmasıdır.

Lojistik süreçleri, süreçleri otomatik olarak kontrol eden bilgisayar sistemleri aracılığıyla etkin bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Ayrıca sürücüsüz otonom araçlar, sürücüsüz gemiler, drone'lar, drone teslimatı, bulut teknolojisi ve dijital platformlara süreç aktarımı, lojistik sektöründe yeni iş süreçlerinin ve Lojistik 4.0'ın oluşmasına olanak sağlamaktadır.

Lojistik süreçlerin dijital platformlara aktarılmasıyla birlikte bilgi kaynaklarının geniş kullanılabilirliği ve üstün iş birliği sayesinde lojistik süreçlerin güvenilirliği, esnekliği ve verimliliği ile şirketlerin verimliliği ve karlılığı da artmaktadır. Endüstri 4.0, lojistik sektörüne inovasyon, katma değer ve sürdürülebilirlik açısından büyük fırsatlar getirmiştir.

Endüstri 4.0 yaklaşımı, anlık etkileşimleri tüm satın alma ve lojistik süreçlerinin merkezi noktası haline getirecek; Akıllı fabrikanın üretim süreci tedarikçiler, depolar, raflar veya taşıma araçlarıyla entegre olarak yönetilecektir. Akıllı makineler sayesinde stok seviyeleri, tedarik zincirindeki aksaklıklar, hasarlı ürünler ve talepteki değişiklikler sürekli takip edilecek ve böylece her iş süreci yerinde koordine edilerek etkinlik sağlanacaktır (Özdemir ve Özgüner, 2018).

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. ENDÜSTRİ 4.0'IN SEKTÖRLERE ETKİSİ

#### 2.1 Endüstri 4.0'ın Sektörlere Etkisine Genel Bakış

Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı her geçen gün fabrikalar, mağazalar ve tedarik zincirleri gibi birçok alanda kullanımı artarken; her bir sektör için etkileri farklılık göstermektedir. Endüstri 4.0'a en hızlı uyum sağlayan ve başı çeken sektörler teknoloji odaklı ve katma değeri yüksek sektörlerdir.

Endüstri 4.0'la fabrika ve üretim alanlarında robot, teknoloji, programlar ve araçların sayısı artarken çalışan insan sayısı azalır. Robotlar üretimi devraldıkça, insan gücüne olan ihtiyaç azalacak ve işsizlik artabilecektir. Yapay zekâ ile programlanabilen ve tasarlanabilen robotlar üretimi devralacak ve bu sadece fabrika işçileri için değil, beyaz yaka çalışanlar için de tehlike arz etmektedir. Otomasyon ve yapay zekâ doğrultusunda yaşanan bu değişim, çalışanların yetkinliklerini geliştirmelerini ve bu teknolojilere uyum sağlayacak yeni rolleri benimsemelerini gerektirecektir. Bu geçişi başarıyla yöneten sektörlerin ise operasyonlarında verimlilik ve üretkenlik artışı gözlemlenmesi muhtemeldir.

Endüstri 4.0'ın getireceği değişiklikler kamu kurum ve kuruluşlarının fonksiyonlarının yeniden düzenlenmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bu, özellikle hükümetlerin ulusal ve yerel düzeyde kamu ve özel sektörle iş birliği yaparak kendilerini inovasyon yoluyla yeniden organize etmelerini gerektirmektedir. Bugüne kadar sanayi devrimlerinde hükümetlerin pek fazla sorumluluğu olmasa da Endüstri 4.0'da hükümetleri bekleyen tehlike vardır ve bu tehlike ancak inovasyonun gelişiminin desteklenmesiyle aşılabilmektedir (Öztürk ve Alaşahan, 2019). Dördüncü sanayi devrimiyle birlikte bu desteğin sağlanması için ise hükümetlerin, işgücünün yeni dijital çağ için gerekli becerilerle donatılmasını sağlamak üzere eğitim ve öğretim programlarına yatırım yapmasını ve ayrıca, küresel pazarda rekabetçi kalabilmek için gelişen teknolojileri de araştırma ve geliştirmeyi teşvik eden politikalar oluşturmaları gerekliliğine de işaret etmektedir.

Tezinin ikinci bölümünün amacı, Endüstri 4.0'ın farklı sektörlerdeki etkilerini analiz ederek, bu teknolojik dönüşümün getirdiği fırsatlar ve zorlukları ortaya koymaktır. Bu kapsamda bölümün devamında, Endüstri 4.0'ın tarım, kamu

ve özel sektörler ile imalat sektörü gibi çeşitli sektörlerdeki uygulamaları ve bu uygulamaların sektörel bazda nasıl farklılıklar gösterdiğini incelenmektedir.

## **2.2 Endüstri 4.0 Sürecinin Kamu Sektörüne Etkisi**

Endüstri 4.0 sistemlerin, tedarikçilerin, müşterilerin ve diğer paydaşların aynı grupta bir araya getirildiği ve birbirleri ile olan ilişkilerin yapay zekâ teknolojisi ve algoritmalar ile otomatikleştiren bir yapıdır. Endüstri 4.0 ile kamu kuruluşlarında kaynakların verimli kullanılması israfın azalması, süreç değişkenliğinin azalması, hizmet ve üretilen ürünlerin kalitesinde artma sağlanmıştır. Aynı zamanda kamu kuruluşlarında Endüstri 4.0 ile devlet harcamaları ve halktan toplanan vergiler ve cari açıklar azalır. Bununla birlikte yeni iş imkanları, devlet AR-GE destekleri artar. (Sayar ve Yüksel, 2018).

Veri toplama, analiz etme ve buna ilişkin aksiyonlar zamanında gerçekleşmediği takdirde kamu ve özel sektör sistemleri etkili sonuçlar elde edemez. Verilere ilişkin işlemleri gerçekleştirirken; günlük ve plansız davranışlar, kurumsal hafıza oluşturmaya yönelik altyapının yetersiz olması, sistem simülasyon tekniklerinin az kullanılması ve mevcut sonuçların yetersiz kullanılmasının sürekli iyileştirilmesi nedeniyle bu veriler istenilen düzeyde üretilmemektedir. Ülkenin kısa, orta ve uzun vadedeki stratejileri halktan toplanan vergilerle finanse edilen kamu harcamalarına, istenmeyen ve fark edilmeyen bir yük getirmektedir. Bu durum özellikle sağlık, savunma ve enerji gibi kamu harcamalarının yüksek olduğu alanlarda geliştirilebilecek ve entegre edilebilecek etkin sistemlere sahip olan ülkemiz için geçerlidir. Bu sayede kaynaklar daha verimli kullanılır.

Türk kamu kurumlarında iyileştirme çalışmaları genellikle departman veya işyeri düzeyinde sürdürülmektedir. Yapılan değişiklikler sanal ortamda test yapılmadan gerçek hayatta uygulanmaktadır. Bu değişikliklerin sonuçları da deneme yanılma yöntemi ile takip edilmekte ve çıkan sorunlardan birey doğrudan etkilenmektedir. Sonuç olarak da kamu hizmetlerinden memnuniyet azalır (Sayar ve Yüksel, 2018).

Endüstri 4.0, temel olarak fabrikalarda, işletmelerde ve üretim endüstrilerinde dijital teknolojilerin kullanılmasına dayanmaktadır. Bu bağlamda bir ülkenin dijital dönüşümünü tamamlayabilmesi için özel sektörlerine bu konuda destek vermesi gerekmektedir.

Hükümetler ayrıca, dijital dönüşümü desteklemek ve özel sektörü küresel pazarda söz sahibi kılmak ve dönüştürmek için özel sektörü desteklemek, teşvik

etmek veya para desteği sağlayarak Endüstri 4.0 girişimlerini hazırlar ve uygularlar. Bu nedenle yatırım maliyetlerinin yanı sıra transfer maliyetlerinin de artmasına neden olur. Ülkeler dijital dönüşüme başladıktan sonra araştırma ve geliştirmenin önemini kavrayarak AR-GE harcamalarına önemli ölçüde kaynak ayırmışlardır (Çetinkaya, 2020).

### **2.3 Endüstri 4.0'ın İmalat Sektörüne Etkisi**

Endüstri 4.0'daki gelişmelerle üretim süreçlerinde de dijitalleşme yönünde gelişmeler olmuştur. Dijital üretim olarak adlandırılan bu süreçle; üretim sektörlerinin her aşamasında kullanılan sensörler yardımıyla hammaddenin üretim alanına girişinden son ürün haline gelene kadar bilgiyi ayrı ayrı analiz edebilme şansı sağlamakta ve olağandışı durumlarda anında bilgi göndererek üretimin daha verimli olmasını sağlamaktadır. Radyo dalgaları ile bilgi iletimi teknolojisi, kablosuz aę teknolojisi seviyesine ulaşmış olup, üretim sürecinde bilgi iletimini daha hızlı ve daha kolay hale getirmektedir.

#### **2.3.1 Endüstri 4.0'ın Otomotiv Sektörüne Etkisi**

Otomobil sektörü, motorlu taşıt üreten sektör olarak tanımlanmaktadır. Yurt içi ve yurt dışında üretilen ürünlerin pazarlama ve hizmetini sağlamak amacıyla bu şirketlerle iş birliği yapan şirketlerin yer aldığı sektör otomotiv sektörüdür.

Otomobil endüstrisi ana otomotiv sanayi ve otomotiv yan sanayi olarak iki ana başlıkta ele alınmaktadır. Ana otomotiv sektörü; karayollarında yoğun trafikte yolcu veya eşya taşımak amacıyla dört veya daha fazla tekerlekli motorlu karayolu taşıtları üreten sanayi olarak tanımlanmaktadır. ISIC'e (Uluslararası Standart Endüstriyel Sınıflandırma) göre otomotiv sektörünün ana ürünleri; otomobil, otobüs, minibüs, kamyon, kamyonet ve traktör gibi motorlu taşıtlardır. Orijinal yedek parça üretimi; imalatçı firmaların oto parça inovasyon ihtiyaçları kapsamında olsun ya da olmasın ana sanayi firmalarının teknolojik ya da maliyet nedeniyle üretmekten hoşlanmadığı parçaların üretimi olarak tanımlanmaktadır. Otomotiv alt sektöründe üretilen parçalar; motor aksamları, fren mekanizmaları, hidrolik aksamlar, güvenlik aksamları, şasi aksamları, süspansiyon aksamları, koltuklar ve camlar, aydınlatma mekanizmaları ve bataryalar kapsamına girebilmektedir (Canitez, 2023).

Otomotiv sektörü; çelik, petrokimya, kauçuk gibi birçok sektör ile etkileşim halindedir. Ekonomiye büyük katkı sağlayan bu sektör her alanda teknolojik gelişme göstermektedir. İlk otomobil endüstrisi 20.yüzyılın başlarında faaliyete

başlamış ve Henry Ford'un 'Seri Üretim' yaklaşımı ile hareket ederek büyük bir endüstri haline gelmiştir. İlk başlarda ustaların yetenek ve el becerileri ile sipariş üzerine yapılan üretimden seri üretime geçilmiş ve böylece kalitede üretkenlikte artış olmuş aynı oranda da maliyetlerde düşüş yaşanmıştır. Büyük bir pazar payı kazanan ABD 1940'lı yıllarda İkinci Dünya Savaşı ile duraklamıştır (Barut vd., 2020).

Birinci Sanayi Devriminde sadece buharla çalışan ve düşük hızlarda gidebilen araçlar Endüstri 4.0 sonrası akıllı telefonlarla kontrol edilmekte ve daha hızlı gidebilmektedirler. Araçların sensörler kullanarak otomatik olarak park edebilme özelliği otomotiv sektörünün gelişen teknolojileri arasında yer almaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde ilerleyen dönemlerde insansız, otomatik sürüş gerçekleştiren otomobillerin tüketiciye sunulması öngörülmektedir.

Türkiye otomotiv sanayisinde ilk üretimi Ford Motor Company' nin 1929 yılında kurduğu montaj fabrikasıdır. Bu fabrikada traktör, kamyon ve otomobil üretilmek amacıyla kurulmuştur ancak 1929 da yaşanan ekonomik kriz nedeniyle başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1954'te Willis Overland Corporation'ı kurulmuş ve verilen montaj lisansı, Türkiye'de otomotiv sektörünün başlangıcı olmuştur. BMC, Otosan gibi birçok büyük üretici bu yolu seçmiştir. Bunun sonucunda karayolu trafik yolları ve araç park alanları genişletilmiştir. 1990 yılına kadar Türkiye'de üretilen otomobiller, Türkiye'nin ikincil otomobil sanayisinin gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Türkiye'de en yüksek üretim kalitesi ve en düşük maliyet gibi avantajlar, dünya otomotiv sektörünün Türkiye'ye yatırım yapan öncüleri için önemli rol oynamıştır. Türkiye, Avrupa'ya yakınlığı ve pazar potansiyeli nedeniyle 1990'lı yılların sonlarında otomobil üretiminde önemli bir konuma gelmiştir (Canitez, 2023).

Dijital dönüşüm, otomotiv endüstrisini de dönüştürerek otomobil üreticilerinin ve hizmet sağlayıcılarının mal ve hizmet sunma biçimlerini etkilemektedir. Bu değişim, özellikle son dönemde gündemde olan çevresel konular ve yüksek tüketici talebi tarafından yönlendirilmektedir. Dolayısıyla, otomotiv sektöründe dijital dönüşüme yatırım yapmak, üreticiler için daha fazla kâr, üretkenlik ve rekabet gücü sağlarken, tüketicilere de daha iyi hizmet ve daha fazla memnuniyet sunacaktır (...) Llopis-Albert vd., (2021).

### 2.3.2 Endüstri 4.0'ın Gıda Sektörüne Etkisi

İnsan yaşamının en temel ihtiyaçlarından biri olan gıdaya olan talep nedeniyle gıda sektörü çeşitli üretim alanlarında faaliyet göstermektedir. Gıdanın üretim sektörü içindeki payı, geçmişten ve günümüzden bağımsız olarak her zaman büyük olmuştur. Günümüz gıda endüstrisindeki sistemler; her ne kadar merkezi olarak kontrol edilse de gelecekte bilgi ve iletişim teknolojilerinde makineler ve hammadde ile iletişim amaçlı kullanılacaktır.

Gıda endüstrisi, nüfus artışı ve buna bağlı olarak pazar talebindeki artışlar nedeniyle geçtiğimiz yüzyılda hızlı değişimlere uğramıştır. Şimdiye kadar gıda işleme teknolojisi, piyasada bulunan gıda muhafaza, paketlenme ve taşıma araçlarıyla sınırlıydı. Geleneksel gıda işlemede temel olarak tuzlama, kürlenme, dondurma, kurutma, asitleme ve tütsülenme gibi yöntemler kullanılmaktadır. 19.yüzyıldaki sanayileşme sürecinde gıda üretimi hızla artmıştır. Yeni kitlesel pazarlar ve öğütme, depolama, paketlenme, etiketlenme ve taşıma gibi yeni ortaya çıkan yeni teknolojiler bu artışa önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Gıda üretim zinciri boyunca izlenebilirlik ihtiyacı, makinelerin ve depolanan verilerin birbirine bağlanmasına dayanmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamaları bu bağlantıları kolaylaştırmaktadır. Bu durum ise, daha esnek bir üretime olanak tanıyarak, değişen gıda özelliklerine ve tercihlerine hızlı bir şekilde yanıt verilmesine ve her müşteri için ayrı ürünler üretilmesine olanak sağlar. Ayrıca üretim sürecinde meydana gelen enerji tüketimi izlenebilir ve optimize edilebilir.

Endüstri 4.0 uygulamalarıyla birlikte siber-fiziksel sistemler ve internet aracılığıyla makinelerden bilgi akışı sağlanabilmek ve akıllı fabrikalarla üretim sırasında verilerin analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Üretimde kullanılan otonom makinelerle bilgi veren sensörler ile fire oranlarını azaltırken kar arttırılmaktadır. Müşterinin ihtiyacına göre talep odaklı üretim yapılarak müşteri taleplerine hızlı dönüş sağlanmaktadır. İzlenebilirlik sistemleri ile gıdaların raf ömürleri takip edilebilmekte ve bu sayede de fazla üretim önüne geçilebilmektedir.

Dördüncü Sanayi Devrimi gıdanın raf ömrüne pek çok fayda getirecek bir devrimdir. Son kullanma tarihi ve arz fazlası birçok gıda üreticisi için ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu tür sorunların elektronik izlenebilirlik ile çözülmesi planlanmaktadır. Bu çözüm, üreticilerin süpermarket raflarına teslim edilen ürünleri takip etmelerine olanak tanımaktadır (Doğan, 2022).

### 2.3.3 Endüstri 4.0'ın Hazır Giyim-Tekstil Sektörüne Etkisi

Endüstri 4.0'da nesnelerin interneti ile gelişen teknoloji sayesinde tekstil sektöründe esnek ve daha hızlı bir üretim süreci ile daha fazla ürün üretilmesi sağlanmıştır. Sanal gerçeklik ve nesnelerin interneti ile yapılan tekstil üretimine 'Akıllı Tekstil' adı verilmektedir. Akıllı Tekstil; teknolojik olarak en gelişmiş ve teknik tekstil üretiminde katkısı yüksek olan gelişmiş bir alandır.

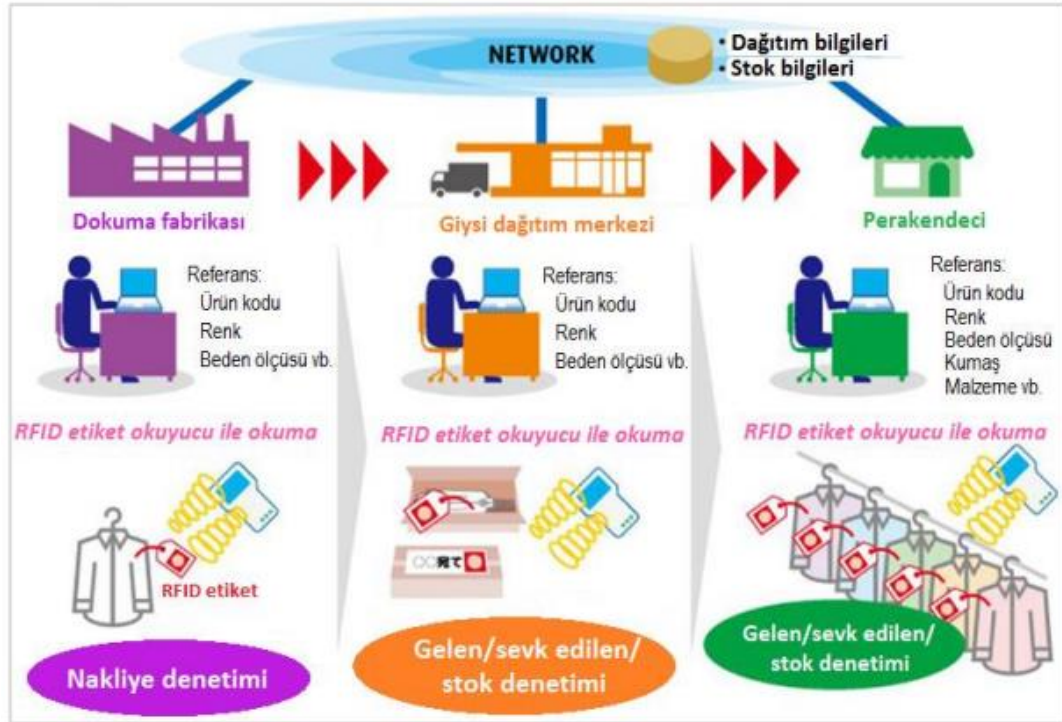
İşgücünün kıt veya pahalı olduğu durumlarda hazır giyim endüstrisindeki ihtiyatlı uygulamalar, üretkenliği en üst düzeye çıkarmak ve işin her düzeyinde insan müdahalesini en aza indirmek için mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanmaktır. Bu bağlamda performansı yüksek bir yapı olan hazır giyim sektöründe Endüstri 4.0 yaklaşımlarının hayata geçirilmesi muhtemeldir (İlhan, 2019).

Hazır giyim sektörünün gelişimi ilk sanayi devrimi ile hızlanmıştır. İlk sanayi devriminden önce hazır giyim üretiminin büyük bir kısmı aile atölyelerinde gerçekleştiriliyor ve tüccar hammaddeyi üreticinin evine teslim edip sonrasında ürünü alıyordu. Birinci Sanayi devriminin etkisiyle buhar makinasının ortaya çıkması tekstil sektörünün verimliliğini artırırken hammaddelerin hızlı üretimi, atölye üretiminden fabrikalara dönüşümü başlatmıştır. 1784 yılında tezgahların ve 1846 yılında da ilk dikiş makinesinin kullanıma sunulması ile giyim endüstrisinde üretimin artmasına aynı zamanda da işlerin daha verimli ve daha hızlı yapılmasına olanak sağlamıştır. Tekstil endüstrisinde ürün ebatlarının standartlaştırılması, 1960'lı yıllara kadar yün, pamuk gibi doğal malzemeler 1960'lı yıllardan sonra ise akrilik, naylon gibi sentetik malzemelerin üretilmesine başlanmasıyla sektörde büyük gelişmeler olmuştur.

Otomasyon sistemlerinin sektöre girmesiyle birlikte üçüncü sanayi devriminin etkisi hissedilmeye başlandı ve hazır giyim sektörü için bu alanda projeler geliştirildi. Örneğin Japonya'da 1980'li yıllarda üreticiler TRAAS (Technology Research Association for Automatic Sewing Systems) adlı bir kuruluştan ve Avrupa Birliği destekli LEAPFROG (Leadership for European Apparel Production from Research along Original Guidelines) adlı kuruluştan fon ve destek alıyor ve alınan desteklerle yeni projeler geliştiriliyordu. Ayrıca hazır giyim sektörü, CAD/CAM gibi bilgisayar destekli programlar, dikiş makinelerinde programlanabilir dikiş ve optik tanıma teknolojisi, RFID (Radio Frequency

Identification) çözümleri kullanarak ürün paketleme sistemleri kullanarak tasarımlar geliştirmektedir.

Hazır giyim üretiminde dijitalleşmenin temel araçlarından biri olan RFID (Radio Frequency Identification.) teknolojisi, halihazırda envanter yönetimi, depolama, dağıtım, lojistik ve nesnelerin (bitmiş ürünler, çeşitli kalıplanmış parçalar vb.) otomatik takibi için kullanılmaktadır. Tekstil üretim sürecinde izlenebilirliği sağlayan RFID (Radio Frequency Identification) ve barkod sistemleri, yapıları gereği çeşitli sınırlamalara sahiptir. Bu nedenle takip etiketlerinin ipliklere ve dolayısıyla kumaşlara yerleştirilmesin ilişkin literatürde bilimsel çalışmalar mevcuttur. Şekil 2.1'de RFID teknolojisinin giysi üzerinde kullanımı gösterilmiştir (İlhan, 2019).



**Kaynak:** (İlhan, 2019).

**Şekil 2.1.** RFID teknolojisinin giysi üretiminde kullanımı

Endüstri 4.0 süreçlerinin ve internetin fabrikalarda yaygınlaşması ile fabrikada kullanılan her obje için gerekli veriler merkezi olarak saklanabilmekte ve bu verilerin analizi ile aksiyonlar alınabilmektedir (Yoşumaz ve Özkara, 2019)

#### 2.4 Türkiye’de Endüstri 4.0

Teknolojik gelişme çağında, Türkiye’nin yeni yabancı yatırımları ülkeye çekmesi ve küresel pazardaki konumunu güçlendirmesi için inovasyona değer

vermesi ve bu doğrultuda çalışması gerekmektedir. Endüstri 4.0 döneminin yakın geleceği dikkate alındığında: Türkiye'nin sanayi, teknoloji ve kalkınma konularında verimli ve talep odaklı stratejilere odaklanması önerilmektedir. Ülkenin orta gelir tuzağından kurtulabilmesi ve üretkenliğe dayalı ekonomiden bilgiye dayalı ekonomiye geçebilmesi, belirlenen ihtiyaçları net bir şekilde karşılayan etkili stratejiler geliştirilmesine bağlıdır. (Öztürk ve Alaşahan, 2019).

Türkiye otomotiv sektörünün en dinamik sektörü olduğundan, pazara sunma süresini önemli ölçüde kısaltmak amacıyla Endüstri 4.0 teknolojileri benimsenmiştir. Bu gelişme ve değişimlerin diğer sektörlerde de benzer etki ve hızda yansıtılması amacıyla çeşitli forumlar düzenlenmekte, kamu ve özel sektör verileri kullanılarak farkındalık artırma faaliyetleri yürütülmektedir.

Endüstri 4.0 çerçevesinde bugün ülkemizde ulaşılması gereken öncelikler, yeni teknolojik altyapıların ve bu altyapılarda çalışabilecek nitelikli insan kaynağının oluşturulmasıdır. Küresel pazarda rekabet etmeye hazır olmak için bu yeni endüstriyel çağın avantajlarından yararlanmak önemlidir. İnovasyon yapamayan firmaların kısa sürede piyasadan kaybolması muhtemeldir.

Ülkemiz sanayileşme açısından 20 yıldır düşük üretim endeksi avantajına sahiptir. Ancak Dördüncü Sanayi Devrimi nedeniyle üretimde ileri teknolojilerin ortaya çıkması, gelişmekte olan ülkeler için dezavantajlı durumlar yaratmıştır. Endüstri 4.0'da önde gelen ülkelerden biri olmak için sanayi, hükümet ve akademi, yenileme stratejileri yerine yeni üretim stratejileri geliştirmek üzere birlikte çalışmalıdır (Kamber, 2019).

Gelişmiş ülkelerin öncülük ettiği yeni sanayi devriminde Türkiye'nin geri kalmaması gerekmektedir. Endüstri 4.0 dostu politikaların geliştirilmesi ve bu süreci yönlendirmek için eğitim, sanayi ve devlet kurumlarının birlikte çalışması gerekmektedir.

On İkinci Kalkınma Planı'nın "Yeşil ve Dijital Dönüşümle Rekabetçi Üretim" bölümü, Türkiye'nin sürdürülebilir ve rekabetçi bir üretim yapısına ulaşmak için yeşil ve dijital dönüşüm stratejilerini benimsemesini hedeflemektedir. Bu doğrultuda, kalkınma planının ana noktaları şu şekilde özetlenebilir: Üretim süreçlerinde nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI), büyük veri ve bulut bilişim gibi dijital teknolojilerin entegrasyonu, üretimde verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için otomasyon ve robotik sistemlerin kullanımı, iş gücünün dijital dönüşüme uyum sağlaması için eğitim programlarının geliştirilmesi ve dijital

becerilerin artırılması, yenilikçi ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yapılan yatırımların artırılması, Türkiye'nin küresel değer zincirlerine entegrasyonunu sağlayacak stratejilerin geliştirilmesi ve ihracatın desteklenmesi, küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijital ve yeşil dönüşüme uyum sağlamaları için finansal ve teknik desteklerin sunulması. Böylece Türkiye'nin ekonomik büyümesini sürdürürken çevresel sürdürülebilirliği ve dijitalleşmeyi ön planda tutarak uluslararası rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023)

## **2.5 Dünya'da Endüstri 4.0**

Dünya çapında Endüstri 4.0, endüstriyel üretim ve iş süreçlerinde dijitalleşmenin ve otomasyonun artan bir şekilde benimsenmesiyle ilgili bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir. Bu kavram, Almanya'da 2011 yılında başlatılan ve daha sonra dünya genelinde yayılan bir girişim olan "Endüstri 4.0" girişiminin bir parçası olarak popüler hale gelmiştir. Dünya genelinde Endüstri 4.0'ın etkileri aşağıda belirtilen maddeler halinde görünmektedir.

*Yenilik ve Rekabet Gücü:* Birçok ülke, endüstriyel dönüşümü teşvik etmek ve rekabet güçlerini artırmak için Endüstri 4.0 stratejileri ve politikaları geliştirmiştir. Bu, Ar-Ge yatırımlarının artmasına, girişimciliğin teşvik edilmesine ve yenilikçi teknolojilerin benimsenmesine yol açmıştır.

*Üretim ve Sanayi:* Endüstri 4.0, üretim tesislerinde akıllı üretim sistemlerinin, nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının ve yapay zekâ uygulamalarının kullanılmasını içerir. Birçok ülke, üretim sektöründe dijitalleşme ve otomasyonu teşvik etmek için teşvikler sunmuş ve altyapıyı güçlendirmiştir.

*Eğitim ve İstihdam:* Endüstri 4.0'ın benimsenmesi, işgücü becerilerinde değişikliklere yol açmıştır. Yeni teknolojilerin gerektirdiği yeteneklere uygun eğitim ve mesleki gelişim programları geliştirilmiştir. Ancak, bu dönüşüm aynı zamanda bazı geleneksel iş rollerinin değişmesine veya ortadan kalkmasına da neden olabilir.

*Küresel Tedarik Zinciri:* Endüstri 4.0, tedarik zinciri yönetiminde de büyük bir etkiye sahiptir. Akıllı lojistik sistemleri, gerçek zamanlı veri izleme ve analiz araçları, tedarik zincirinin daha verimli ve esnek hale gelmesini sağlar.

*Sürdürülebilirlik:* Endüstri 4.0, enerji verimliliği, atık azaltımı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi alanlarda da faydalar sağlayabilir. Akıllı üretim sistemleri ve

yenilikçi teknolojiler, kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayabilir ve çevresel etkileri azaltabilir.

Teknolojik dönüşüm ve uzaktan çalışmayı mümkün kılan dijital çalışmanın yükselişi, küresel işgücü piyasalarını da dönüştürmektedir. Dünya Ekonomik Forumu'na göre 73 milyon çalışanı temsil eden 218 iş türü, muhasebe, finans ve bilgi teknolojileri alanlarında önemli roller üstlenerek küresel dijital işler haline gelebilir. Bu işlerin 2030 yılına kadar 92 milyona çıkması ve daha yüksek ücretli rollere doğru bir kayma yaşanması beklenmektedir. Doğru yönetilen küresel dijital işler, yetenek havuzunu genişletebilir ve dijital altyapı, eğitim ve yeni işgücü yönetimi yaklaşımları gerektiren ekonomik büyüme fırsatları sağlayabilir (WEF, 2024).

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 dünya genelinde endüstriyel dönüşümü hızlandırırken, bu dönüşümün yönetilmesi, iş gücü becerilerinin uyum sağlaması ve teknolojiye erişimin yaygınlaştırılması gibi bazı zorlukları da beraberinde getirir. Bu nedenle, birçok ülke stratejik planlar geliştirirken, iş birliği ve paylaşılan standartların önemi giderek artmaktadır (Agazade, 2022; Schwab, 2016).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. ENDÜSTRİ 4.0' IN LOJİSTİK BOYUTU: LOJİSTİK 4.0

Lojistik sektörü, Endüstri 4.0 ile büyük bir dönüşüm yaşamıştır. Endüstri 4.0, dijital ve teknolojik gelişmeleri içeren dördüncü endüstriyel devrimi temsil eder ve lojistik sektörü bu devrimle birlikte entegre bir alan haline gelmiştir. Bu dönüşüm, yeni pazar arayışları, iş modelleri ve müşteri beklentileri gibi faktörleri de içine alan dinamik ve kapsamlı bir yapıyı beraberinde getirmiştir. Siber fiziksel sistemler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin lojistik süreçlere dahil edilmesi, taşıma şekillerinde gelişimlerin yaşanmasına, gerçek zamanlı malzeme akış takibinin ve risk yönetiminin daha doğru bir şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu sayede lojistik sektörü daha verimli, etkin ve çevik hale gelmiştir. Endüstri 4.0'ın getirdiği yeniliklerle birlikte lojistik sektörü tedarik zinciri ve lojistik faaliyetlerini yeniden yapılandırmak ve dijitalleştirmek zorunda kalmıştır (Kayapınar, 2017).

Lojistik sektörü, müşteri ihtiyaçlarına yönelik olarak yüksek verimlilik, esneklik, hızlı hareket etme ve karar alma gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için işletmeler, modern teknolojileri kullanarak ve yöneterek bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu dönüşüm, Lojistik 4.0 veya "akıllı lojistik" olarak adlandırılmaktadır ve lojistik operasyonlarında yüksek teknoloji sensörleri ve gelişmiş robotiklerin kullanımını, tedarik zincirinin tamamının bilgi teknolojileri ile bağlantısını içermektedir (Jahn ve Kersten, 2018).

Covid-19 pandemi süreci hem nihai kullanıcılar hem de birçok endüstri dalı için teknolojinin hızla kullanımını zorunlu kılmıştır. Bu süreç, işletmelerin iş modellerini zorunlu ve radikal değişimlere uğratmıştır ve bu değişimlerin devam edeceği açıktır. Pandemi sürecinde e-ticaretin yaygınlaşması ve teslimatların artması, işletmelerin yeni modellere ve yöntemlere olan ihtiyacını artırmış ve Lojistik 4.0'a hızlı bir şekilde uyum sağlamalarını gerektirmiştir (Demiral, 2021).

Bu bölümde öncelikle lojistiğin tarihsel gelişimi ve önemi, temel lojistik faaliyetleri tanıtılmakta sonrasında lojistik 4.0'ın tarihsel gelişimi ve bileşenleri açıklanmaktadır. İlerleyen alt bölümlerde Endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne etkisi değerlendirilerek Türkiye ve dünyada Lojistik 4.0 uygulamaları ile ilgili bilgiler

sunulmaktadır. Son olarak Lojistik 4.0 uygulamalarının, bir SWOT Analizi yardımıyla fırsat ve tehditleri, güçlü ve zayıf yönleri tartışılmaktadır.

### **3.1 Lojistiğin Tarihsel Gelişimi ve Önemi**

"Lojistik" kelimesi, farklı dillerde benzer anlamlarla kullanılan bir terimdir. İngilizcede "logistics", Fransızcada "logistique" ve Yunancada "logistikos" olarak geçer. Bu terim aslen Antik Yunan ve Roma İmparatorluğu'nda askeri bir bağlamda kullanılmıştır ve "ulaştırma, tedarik ve askeri birliklerin stratejik yerleşim sanatı" anlamına gelmektedir. Antik dönemde "Logistikas" adı verilen askeri ünvanlı komutanlar, malzeme tedarikini ve dağıtımını yöneterek ana üsler ile diğer üsler arasında koordinasyonu sağlamıştır. Bu sistem aynı zamanda düşman tedarik zincirini zayıflatmak ve kendi tedarik ağını korumak amacıyla da kullanılmıştır. Tarih boyunca lojistik terimi, farklı toplumların dillerine uyum sağlamış ve günümüzde uluslararası iş ve ticaret dünyasında önemli bir rol oynamaya devam etmektedir (Sezgin, 2021).

Lojistik, kökeni askeri alanda olan bir kavram olup, birliklerin muharebe hizmet destek faaliyetlerini ifade eder. Bu faaliyetler, ulaşım, beslenme, destek, iletişim, sıhhiye gibi birliklerin ihtiyacı olan her türlü malzeme ve hizmetin sağlanmasını kapsar. Lojistik, askerî harekâtın gerçekleştirilmesi için gerekli olan tüm sistemleri, teçhizatı, depolama, nakliyat, dağıtım ve diğer destek faaliyetlerini içerir. Bu sayede birlikler, ihtiyaç duydukları kaynakları etkin ve verimli bir şekilde alabilir ve muharebe operasyonlarını başarıyla yürütebilirler.

Lojistik kavramı zamanla askeri alandan ana ticari arenaya taşınmıştır. Özellikle 1800'lerde ortaya çıkan Endüstri Devrimi, ulaşım ve taşıma sistemlerine köklü değişiklikler getirerek lojistik sisteminin dönüşümünü hızlandırmıştır. Demiryolları, karayolları ve denizyolları, hammaddenin ana üretim merkezlerine taşınması ve üretilen malların pazar noktalarına iletilmesinde kritik bir rol oynamıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra lojistik faaliyetler, savaş odağından çıkarak iş dünyasının odağına kaymıştır. Artık ürünlerin fiziksel dağıtımı, ticari işletmelerin yoğunlaştığı bir lojistik faaliyet alanı haline gelmiştir.

Lojistik süreci, taleplerin alınması, hammaddenin girişi, ürünün hazırlanması, dağıtılması, depolanması, üretim planlaması ve müşteri hizmetleri gibi önemli faaliyetleri içermektedir. Ticari lojistik, ürünlerin ve hizmetlerin tüketiciye ulaşmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir ve işletmelerin rekabet

gücünü artırmasına yardımcı olur. Bu şekilde lojistik, günümüzde iş dünyasında vazgeçilmez bir süreç haline gelmiştir (Koçak, 2020).

### **3.2 Lojistiğin Amacı**

İnsanoğlu yaşam faaliyetlerini sürdürebilmek için tüketime ihtiyaç duymaktadır. Tükettikleri tüm ürünler ise genel olarak lojistik süreçlerden geçmektedir. Lojistik, hammaddeyi nihai ürünlerine kadar tüketicilere ihtiyaçları doğrultusunda doğru ürünleri, doğru zamanda ve doğru yerde sunmayı amaçlamaktadır.

Lojistik faaliyetler son tüketicilerin, lojistik hizmetlerinin ortak müşterilerinin, lojistikçilerin ve üreticilerin yedi temel beklentisinin karşılanmasını içermektedir. Bu beklentiler; doğru ürünün, doğru miktarda, doğru biçimde, doğru zamanda, doğru kaynaktan, doğru şekilde ve doğru fiyatla ulaştırılmasıdır. Başka bir deyişle lojistik, müşteri odaklı bir yaklaşımla tüketici ihtiyaçlarına uygun yedi unsurun sağlanmasını amaçlamaktadır. (Delibalta, 2020)

Lojistik operasyonun bir parçası olarak taşınan üründen bağımsız olarak üç temel faktör şunlardır: mesafe, hacim ve zaman. Lojistik, bu üç unsur için uygun planlamayı ve bu unsurları müşteri gereksinimlerine göre önceliklendirmeye ve sunmaya odaklanmayı içerir.

### **3.3 Temel Lojistik Faaliyetleri**

Lojistik faaliyetler başlangıçta sadece taşıma ve depolama ile sınırlıyken, günümüzde çok daha geniş bir kapsamı içermektedir. Artık lojistik, işletmelerin tedarik zinciri yönetim süreçlerini etkin bir şekilde yöneten ve birçok farklı işlevi barındıran bir alan haline gelmiştir.

#### **3.3.1 Depolama**

Depolar ticari nitelikteki ürünlerin farklı aşamalarındaki depolama ve lojistik işlemlerinin düzenli ve organize şekilde gerçekleştirildiği alanlardır. Bu alanlarda ürünler, hammadde, yarı mamul veya tüketim için hazır şekilde bulunabilir. Depolar sadece ürünleri saklamakla kalmaz, aynı zamanda çeşitli lojistik işlemlerin gerçekleştirildiği ve ürün akışının belirli bir süre kesintiye uğrayarak katma değer işlemlerin yapıldığı yerlerdir (Görçün, 2013).

Depolama, bir işletme içindeki lojistik faaliyetlerin bütünüdür. Bu süreçte, ürünler büyük miktarlarda ve uygun koşullarda saklanır, çeşitli aşamalarda istiflenir ve korunur. Ayrıca, ürünlerin gerektiğinde hazır halde tutulması da bu sürecin bir parçasıdır. Depolama işlemi, işletme sektöründe, ürünlerin hammadde

halinden son tüketiciye ulaşıncaya kadar olan süreçte hammaddelerin, parçaların, yarı mamul ve bitmiş ürünlerin işletmede bulundurulması ve ürüne katma değer katacak iş ve işlemlerin yapılması için kullanılır. Aynı şekilde, üretim sektöründe de üretim süreci boyunca tüm faaliyetlere yardımcı olmak amacıyla ürünlerin bekletilmesini ifade eder (Keskin, 2015).

### **3.3.2 Taşımacılık**

Taşımacılık, en dar anlamda bir materyalin en az iki farklı nokta arasında hareket ettirilmesini ifade eder. Lojistik süreçlerdeki aktörlerin ve fonksiyonların farklı noktalarda konumlanmış olması nedeniyle taşımacılık, tedarik zincirleri ve lojistik faaliyetlerde lokasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir enstrümandır. Daha geniş bir perspektifte taşımacılık, lojistik süreçlere odaklanan, sistematik, organize ve koordine bir niteliğe sahip olan faaliyetler bütünüdür. Müşteri ihtiyaçlarını gidermek amacıyla üretilen malların ihtiyaç duyulan bölge ve merkezlere ulaştırılması olarak tanımlanabilir.

Taşımacılık, organize ve planlı bir şekilde ele alınan bir lojistik faaliyet olup, taşıma öncesi süreçler, taşıma operasyonları ve taşıma sonrası süreçler olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu aktivite taşımaya hazırlık, taşıma sürecinin yürütülmesi, sürecin bitirilmesi gibi alt süreçleri içermektedir.

Taşımacılık kendi içinde çeşitli sınıflara ve gruplara ayrılabilir. Taşımanın ülke içinde veya dışında yapılmasına göre uluslararası ve yurtiçi taşımacılık olarak iki ana sınıfa ayrılır. Seçilen taşıma türüne göre de karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu gibi farklı gruplara bölünebilir. Taşımda kullanılan taşıma türlerinin sayısına göre yapılan sınıflandırmada ise tek modlu "unimodal" taşımacılık, yalnızca bir taşıma türünün kullanıldığı operasyonu ifade ederken, multimodal taşımacılık, iki veya daha fazla taşıma türünün tek bir operasyonda kullanılmasını ifade eder. Multimodal taşımacılık, intermodal ve kombine taşımacılık gibi alt türlere ayrılmaktadır (Görçün, 2018).

### **3.3.3 Paketleme**

Paketleme, toplanmış veya elleçlenmiş ürünlerin müşteri isteklerine uygun olarak belirli kriterlere göre birleştirildiği, siparişe göre eksiksiz olduğunun kontrol edildiği ve taşıma amaçlı nihai tüketiciye zarar görmeden, bozulmadan ve güvenli bir şekilde ulaştırılabilmesi için saklandığı önemli bir lojistik süreçtir. Paketleme aşamasında ürünlerin doğru ve güvenli bir şekilde ambalajlanması sağlanır. Müşteri siparişinin eksiksiz olduğu ve taşıma kabının son kontrollerinin yapıldığından emin

olunur. Bu süreç, ürünlerin taşıma sürecinde zarar görmemesi ve taşınabilirliğinin kolaylaştırılması için son derece önemlidir. Paketleme aşaması, tedarik zinciri içindeki sipariş yönetimi ve depolama süreçleriyle de sıkı bir şekilde entegre olur. Müşteri taleplerine göre doğru ürünlerin doğru ambalajlarla paketlenmesi, ürünlerin güvenli bir şekilde sevk edilmesini ve müşteri memnuniyetinin artırılmasını sağlar (Tanyaş ve Düzgün, 2014)

### **3.3.4 Talep Yönetimi**

Üretim ve dağıtımın doğru bir şekilde planlanabilmesi için, son tüketicinin talep tahmini yönetimi çok önemlidir. Müşteri talebi farklı değişkenlerden etkilenir ve tahmin edilmesi zor olan bir bilinmeyendir. Talep tahmini yapabilmek için çeşitli matematiksel, istatistiki ve ekonometrik yöntemler geliştirilmiştir. Fakat geliştirilen bu yöntemlere rağmen müşteri talebini hatasız bir şekilde tahmin etmek oldukça zordur. Başarılı bir talep tahmini ile müşteri hizmet seviyesi artırılır ve stok ile taşıma maliyetlerinin azaltılması sağlanır.

Talep tahmini, gelecekteki potansiyel talepleri öngörerek üretim sürecinin kesintisiz devam etmesi için üretim planlamasının yapıldığı, üretilmesi gereken veya istenen ürün miktarlarının belirlendiği bir süreçtir. Talep tahminleri, üretim aşamasında esas veri olarak kullanılarak hammadde, yarı mamul, işgücü, makine ve ekipman gibi kaynak ihtiyaçlarının belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Bu tahminler, tüketicinin veya kullanıcının ihtiyaçlarını önceden belirlemektedir. Talep yönetimi ise, üretim sürecinde gelecekteki taleplerin doğru bir şekilde tahmin edilmesini içerir ve bu talepleri karşılayacak esnek üretim kapasitesi yeteneği ile gerçekleştirilir. Bu süreç, talep dalgalanmalarına uygun bir şekilde üretim ve kaynak yönetimi yapılmasını sağlayarak, müşteri taleplerinin en iyi şekilde karşılanmasını hedefler (Bakkal ve Demir, 2011).

### **3.3.5 Stok Yönetimi**

Stok, ekonomik bir sistemde üretim aşamasında doğrudan veya dolaylı olarak katılan fiziksel ürünlerin kendisi veya parasal değeri olarak ifade edilmektedir. Aynı zamanda stok, belirli bir süre boyunca âtıl durumda bekletilen ve ekonomik değere sahip olan kaynakları da içerir.

Stok yönetimi, işletmelerin müşterilere etkin ve hızlı hizmet sunmalarını, üretim sürecinin aksamadan devam etmesini, talep dalgalanmalarına göre üretim sürecini uyarılama yeteneğini, fiyat değişkenliği ve tedarik sorunlarının önüne

geçmeyi ve işletmelerin siparişleri karşılama kapasitesi ile tüketim noktasındaki ürün miktarının sürekliliğini sağlamada önemli bir rol oynar.

Stok yönetimi faaliyetleri, üretimin aksamadan devam edebilmesi için gerekli stok miktarını belirlemeyi, stok tutma maliyetlerini hesaplamayı, yeterli miktarda stok olup olmadığını belirlemeyi ve gerektiğinde stokları nereden temin edileceğini planlamayı içerir (Sezgin, 2021).

Malların üretiminde doğrudan veya dolaylı olarak yer alan tüm fiziki varlıklar ve ürün tedarik zincirine dahil edilerek stok kavramına dahil edilir. Başka bir deyişle, depolanan değerin tamamı envanter olarak kabul edilir. Talep ve arz işlevlerini senkronize etmek zor olduğundan işletmelerin envanter tutması gerekir. Depolama işletmeler için maliyetlidir. Bu nedenle envanterin mümkün olduğunca yakından izlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

Firmalar; üretim, teslim ve taşıma işlemlerini en iyi şekilde gerçekleştirmek için, işletmelerinde stok bulundurmaktadır. Fakat stok bulundurup bulundurmamak önemli bir maliyet etkeni olduğundan hangi üründen ne kadar stok bulundurulması gerektiği önemli bir karardır. Bu kararla arzu edilen müşteri hizmet seviyesi sağlanarak genel tedarik maliyetlerinin minimum düzeyde tutulması ve hangi aralıklarla ne kadar sipariş verileceğinin düzenlenmesi önemlidir.

### **3.3.6 Elleçleme**

Elleçleme, ürünlerin depoya taşınması, istiflenmesi, yer değiştirilmesi ve depo içinde fiziksel olarak bir noktadan başka bir noktaya yer değiştirmesini sağlayan bir faaliyettir. Bu süreç, ürünlerin raflardan toplanarak sevk alanına getirilmesi ve araçlara yüklenmesini de içerir. Depo operasyon yönetiminde asıl amaç, ürünlerin istenilen zaman ve istenilen yerde hazır hale getirilmesidir ve bu nedenle elleçleme faaliyeti büyük bir öneme sahiptir. Elleçleme işlemi sırasında depo içerisinde kullanılan ekipmanların seçimi, elleçleme sürecinin verimli bir şekilde yürütülmesine yardımcı olur ve işletmelere zaman ve maliyet tasarrufu sağlar (Sezgin, 2021).

### **3.3.7 Satınalma**

Satın alma faaliyetleri şirketler için stratejik açıdan önemli süreçlerdir. Bu süreç, bir şirketin ihtiyaç duyduğu ürün ve hizmetlerin dış kaynaklardan elde edilmesini içerir. Satın alma süreci, üretim veya hizmet akışını kesintiye uğratmadan gerekli ürünlerin belirlenmesi, kararların alınması, tedarikçilerle

iletişime geçilmesi, tekliflerin değerlendirilmesi ve nihai sözleşmenin imzalanması gibi aşamaları içerir.

Etkin bir satın alma fonksiyonu bir şirketin başarısını büyük ölçüde artırır. Bu nedenle satın alma fonksiyonunun amacının açıkça tanımlanması gerekmektedir. Satın alma fonksiyonunun amaçları, satın alınan ürün ve hizmetlerin özelliklerini belirlemek, hangi tedarikçinin en kaliteli ve en karlı ürünleri sağladığını belirlemek, tedarikçilerle müzakere etmek, anlaşmaya varılan tedarikçilere sipariş vermek, siparişleri izlemek ve kontrol etmektir.

### **3.3.8 Müşteri Hizmetleri**

Müşteri memnuniyetini en üst düzeyde tutmak, lojistik faaliyetlerinde de her sektörde olduğu gibi temel bir hedeftir. Günümüz ticari çevresindeki rekabet yoğunluğu ve müşterilerin ürünlere hızlı erişim isteği, müşteri hizmetleri fonksiyonunun önemini artırmıştır. Lojistik faaliyetler içinde müşteri hizmetleri, hizmet veya ürünü müşterinin talep ettiği yere, istenen zamanda ve müşterinin önceden belirlediği koşullara uygun bir şekilde ulaştırmayı hedefler. Bu yaklaşım, müşterilere en iyi deneyimi sunarak memnuniyetlerini artırmayı amaçlar (Dinçel, 2016).

Müşteri hizmetleri yönetimi, firmanın müşteri ile karşı karşıya kaldığı süreçleri ifade etmektedir. Bu süreçte, müşterilerin beklentilerinin belirlenmesi ve ihtiyaçlarının tahmin edilmesi ile müşteri memnuniyeti açısından ürünün yükleme, varış zamanı ve sipariş süreçlerinin planlanması gerçekleştirilir. Ürünün takibi, müşterinin bilgilendirilmesine yönelik olarak tam zamanlı imalat ve lojistik kanallarının ara yüzlerle ve entegre programlarla sağlanır. Müşteri memnuniyetinin artırılmasına yönelik, müşteri taleplerinin hızlı bir şekilde karşılanması için geliştirilen programlar ve uygulamalar mevcuttur.

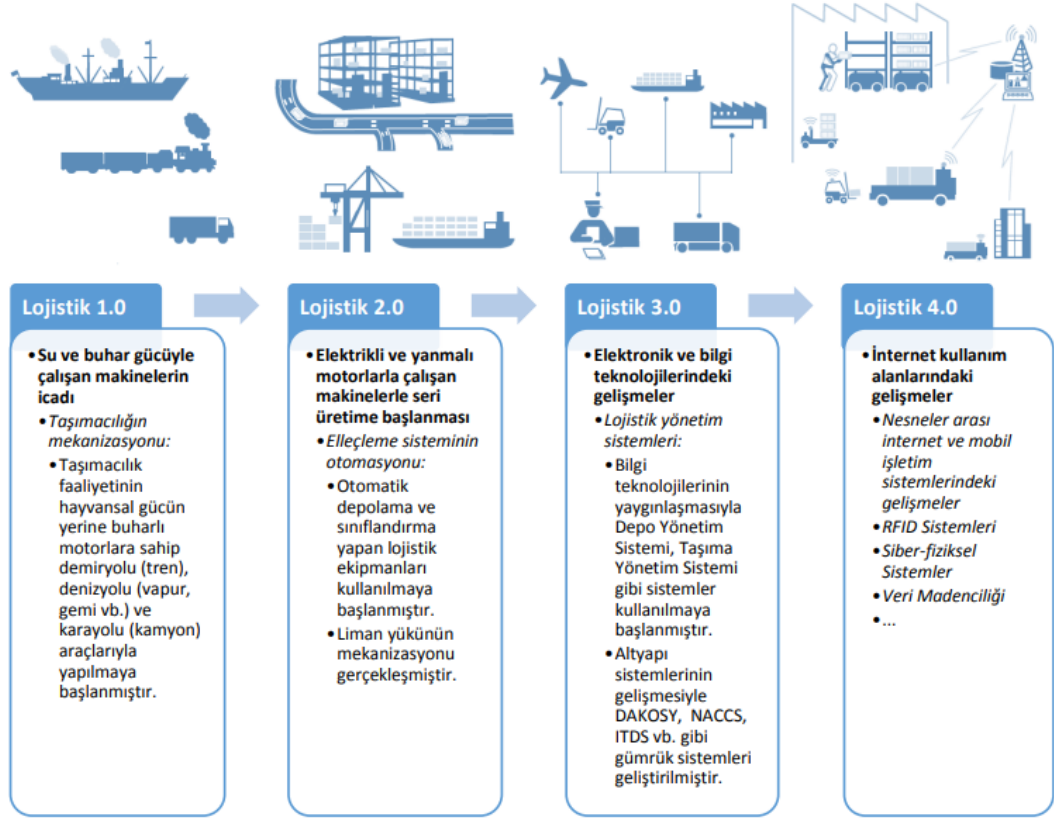
Günümüzde işletmeler, rekabetçi bir çevrede ayakta kalmak ve büyümek için teknolojik gelişmelere uyum sağlamalıdır. Endüstri 4.0 dönüşümü, çeşitli sektörlerle adapte edilebilen bir yaklaşım olarak, lojistik alanında da etkili olmaktadır. Dijital dönüşüm ve IoT teknolojisi, lojistik sektöründe tedarik zinciri süreçlerinin izlenebilirliğini artırarak verimlilik ve esneklik sağlamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde lojistik süreçleri daha verimli bir şekilde yönetilebilir hale gelmektedir. Lojistik sektörü, işletmeler için maliyetleri düşürme, üretimi hızlandırma, ürün kalitesini artırma ve müşteri memnuniyetini sağlama gibi avantajlar sunan bir rekabet aracı olarak kullanılmaktadır.

Tedarik zinciri içindeki lojistik fonksiyonları, hammaddeden nihai tüketiciye kadar olan süreçleri etkili ve düşük maliyetli bir şekilde yönetmeyi amaçlar. Endüstri 4.0 ve IoT teknolojileriyle başlayan dönüşümler, lojistik sektörünü değiştirerek Lojistik 4.0'ın doğmasına yol açmıştır. Bu sayede verimlilik, izlenebilirlik, müşteri taleplerine uygunluk ve daha iyi kontrol sağlanmıştır. Nesnelerin interneti teknolojisiyle ulaşım ve lojistik sektöründe müşteri siparişinden ürünün teslimatına kadar olan süreçler şeffaf ve izlenebilir hale gelmiştir. Tedarik zinciri ve lojistik süreçleri dijital ortamda izlenebilir hale gelerek tedarikçi, imalatçı ve müşteri arasındaki iş birliğini güçlendirmiştir (Sezgin, 2021).

### **3.5 Lojistik 4.0 Tarihi**

Lojistik 4.0 veya Akıllı Lojistik, değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve sürdürülebilir lojistik çözümleri sunmak amacıyla 2011 yıllarında geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, Endüstri 4.0 kavramı gibi, üretim mühendisliğinden bilinen donanım odaklı lojistikten yazılım odaklı lojistiğe, yani akıllı hizmetler dünyasına dönüşümü ifade eder. Siber-fiziksel sistemlerin gelişimiyle birlikte, lojistik sektöründe çeşitli yenilikler ve uygulamalar ortaya çıkmış ve Lojistik 4.0 kavramı doğmuştur. Lojistik 4.0, akıllı ürünleri ve akıllı hizmetleri içeren bir yaklaşımdır. Bu kavram, insanlar ile makineler arasında gerçek zamanlı iletişimi mümkün kılar ve yoğun bir şekilde internet kullanımını gerektirir (Genç ve Tunalı, 2022).

Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki etkisini anlamak için önceki sanayi devrimlerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Lojistik 4.0 bir devrim değil, lojistik faaliyetlerde inovasyonun itici gücü olan lojistik alanında bir gelişme aşamasıdır. Lojistiğin gelişim aşamaları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi lojistiğin gelişim aşaması arttıkça karmaşıklık düzeyi de artmaktadır.



**Kaynak:** (Yılmaz ve Duman, 2019)

**Şekil 3.1.** Lojistik evriminin evreleri

Sanayi Devrimi'ne paralel olarak lojistik alanında da dört devrim niteliğinde değişiklik yaşanmıştır. İlk devrim 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın sonlarında meydana gelmiş ve "ulaştırmanın makineleşmesi" olarak adlandırılmıştır. Bu dönemde demiryollarının, gemilerin ve karayolu taşıtlarının kullanımı artmıştır. İkinci devrim 1960'larda meydana gelen ve kargo elleçleme otomasyonu olarak da tanımlanan dönemdir. Bu ikinci devrim, otomatik depolama ve sınıflandırmayı gerçekleştiren lojistik ekipmanlarının piyasaya sürülmesine ve bazı aktarma işlerinin mekanizasyonuna yol açmıştır. Üçüncü devrim 1980'lerde ortaya çıkmış ve "lojistik yönetiminin sistemleştirilmesi" olarak adlandırılmıştır. Bu devrim ile lojistik yönetimde bilgi teknolojisinin yoğun şekilde kullanılmasına başlanmıştır. Lojistik süreçlerin dijitalleşmesi etrafında gelişen ve derinleşen dördüncü devrim ise şu anda devam etmektedir.

### 3.5.1 Birinci Lojistik Devrimi (Lojistik 1.0)

Endüstri 1.0 döneminde kırsal yaşamdan sanayileşmeye geçiş buhar makinesinin icadıyla gerçekleşmiştir. Bu dönemde elle ve hayvanlar kullanılarak

yapılan üretim ve taşıma, makinelerin gelişiyile değişmeye başlamıştır. Başlangıçta karayolu taşımacılığı ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Buhar motorlarının ulaşımında kullanılmasıyla demiryolu ve hava taşımacılığı da ortaya çıkmış, bu durum karayolu taşımacılığının önemini bir miktar azaltmıştır. Bu dönemde depolar, ürün depolamak veya hammadde depolamak için kullanılan odalar olarak tasarlanmıştır. Ürünler manuel olarak depoya taşınırken, depodan da manuel olarak çıkarılmıştır. Dağıtım amaçlı taşıma karayolu, denizyolu veya demiryolu gibi ulaştırma yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir.

### **3.5.2 İkinci Lojistik Devrimi (Lojistik 2.0)**

Endüstri 2.0 döneminin teknolojik değişimlerini evrim olarak tanımlamak daha doğru olacaktır. Bu süre zarfında makine mühendisliğinde yeni malzemelerin kullanımı artmış ve kimya endüstrisinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Elektrik ve petrol gibi enerji kaynaklarının üretim, ulaşım ve iletişimde kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Karayolu taşımacılığı devam ederken demiryolu ile buharlı gemi taşımacılığı daha da yaygın hale gelmiştir. Konteyner gemilerinin kullanılması bu dönem için önemli bir yeniliktir. Elektrikli lojistik ekipmanları sayesinde depolarda ürün yerleştirme ve alma işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilebiliyor hale gelmiştir. Aynı zamanda manuel forkliftlerin yerini elektrikli elleçleme ve taşıma araçları almaya başlamıştır.

### **3.5.3 Üçüncü Lojistik Devrimi (Lojistik 3.0)**

Endüstri 3.0 çağı, üretim esnekliğini artıran sayısal olarak kontrol edilen makinelerin (CNC ve DNC makineleri gibi) ve otomatik üretime olanak tanıyan endüstriyel robotların icadı dahil olmak üzere iki temel teknolojik ilerlemeye tanık olmuştur. Bu sıralarda lojistik sektöründe teknolojiden faydalanan lojistik yönetim sistemleri gelişmeye başlamıştır. Bu gelişmeler WMS (Depo Yönetim Sistemi) ve TMS (Nakliye Yönetim Sistemi) gibi önemli yazılım programlarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu yazılım, özellikle tedarikçilerden gelen siparişlere ihtiyaç duyulması halinde hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamak amacıyla gelen lojistik sürecini planlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca araç planlarını, programlarını ve rotalarını önceden belirleyerek ürünleri son kullanıcılara veya işletmelere taşıma sürecini daha verimli yönetilmesini sağlar. Üretim lojistiği sürecinde ürünler otomatik konveyörler üzerinde veya bazı şirketlerde programlanmış son teknoloji robotlar aracılığıyla taşınmaktadır. Ürün teslim süreci

de üretime başlamadan önce planlanan bu plan ve programlara göre yönetilmektedir (Şekkeli & Bakan, 2018).

#### **3.5.4 Dördüncü Lojistik Devrimi (Lojistik 4.0)**

Endüstri 4.0'a geçiş, yazılım tabanlı uygulamalara geçişe yol açarak bilgi işlem ve iletişim yeteneklerini önemli ölçüde artırmış ve ilgili tüm taraflar arasında bilgi alışverişini kolaylaştırmıştır. Bu dönüşüm, sabit işlevselliğe sahip geleneksel cihazların yerini, kullanıcı ihtiyaçlarına göre esneklik sağlayan yazılım tabanlı cihazlarla değiştirmiştir. Donanım tabanlı sistemler yerine yazılım tabanlı sistemlerin kullanılmasıyla cihazlar, bilgisayar teknolojisi ile gelişerek yeni yeteneklere olanak tanır. Bu değişiklik, diğer şeylerin yanı sıra, bilgi teknolojisinin üretim ve lojistik süreçlerine entegrasyonunu da içermektedir.

Bu süreç, şirketlerin ürün ve üretim bilgilerini dahili ve harici olarak müşteriler ve tedarikçilerle paylaşmasına olanak tanır. Üretim sürecinde insanlar, makineler, parçalar ve ürünler arasında eş zamanlı iletişim kurulur ve bilgiler bulut tabanlı internet ortamında depolanır. Bu, üretim ve satış süreçlerinin beklenen veya beklenmeyen değişikliklere esnek bir şekilde yanıt vermesine olanak tanır. Lojistik 4.0 ise bireysel aktörlerin birbirine bağlı olduğu otonom alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemler hem kendi hedeflerine hem de ilgili tarafların hedeflerine ulaşmak için etkileşim halindedir (Göpfert, 2019).

Hızlı bir değişim içerisinde giren Lojistik sektörünün geleceği inovasyon ve teknoloji ile yönlendirilecektir. Yapay zekâ, nesnelerin interneti, 3D yazıcılar, bulut bilişim, arttırılmış gerçeklik, RFID, drone ve blockchain ve benzeri teknolojiler kullanılsa da daha hızlı ve ucuz aynı zamanda güvenilir, izlenilebilir ve sürdürülebilir hizmet sunmak amacıyla birçoğu da yakın zamanda devreye alınarak büyük fayda sağlayacaktır.

#### **3.6 Lojistik 4.0 Bileşenleri**

Lojistik 4.0, Endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne uygulanmasıyla ortaya çıkan bir kavramdır. Bu yaklaşım, akıllı üretim, veri analizi, otomasyon ve dijitalleşme gibi teknolojilerin lojistik süreçlerine entegrasyonunu ifade etmekte ve lojistik operasyonlarını daha verimli, esnek ve yenilikçi hale getirerek, tedarik zinciri yönetiminde önemli bir dönüşüm sağlamaktadır.

##### **3.6.1 Nesnelerin İnterneti ve Lojistik**

Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramı, çeşitli iletişim protokollerini kullanarak birbirleriyle iletişim kurabilen ve bilgi alışverişinde bulunabilen akıllı cihazlardan

oluşan bir ağı ifade eder. Teknik anlamda IoT, fiziksel ve sanal nesnelerin bağlantısı, nesne tanımlama, veri toplama ve toplama fonksiyonlarının otomasyonu, veri aktarımı, ağ bağlantısı, iş birliği hizmetleri, küresel ağ altyapısı gibi unsurları içerecektir.

IoT' nin yapısı üç ana katmandan oluşur: algı katmanı, ağ katmanı ve uygulama katmanı. Algı katmanı, fiziksel dünyayı izleyebilen ve durumsal farkındalık sağlayabilen sensörlerden oluşur. Ağ katmanı, kablosuz veya kablolu İnternet ve bulut teknolojilerini kullanan cihazlar için iletişim ve bağlantı yetenekleri sağlar. Uygulama katmanı, IoT hizmetlerinin geliştirilmesini içerir ve cihazların farklı alanlarda ve farklı amaçlarla kullanılmasına olanak tanır (Genç & Tunalı, 2022).

Lojistik sektöründe, nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi çeşitli operasyonel alanlarda fayda sağlamaktadır. Bu teknoloji; taşımacılık yönetimi, depo yönetimi, elleçleme, paketleme, dağıtım, lojistik bilgi işlem sistemleri, talep tahmini ve optimizasyon gibi çeşitli alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. IoT sensörleri ve veri analizi sayesinde taşıma süreçlerinin optimize edilmesi, envanter yönetiminin iyileştirilmesi ve paketleme süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi gibi operasyonel süreçlerde önemli kazanımlar sağlanmaktadır. Bu teknolojilerin doğru ve etkin bir şekilde uygulanmasıyla işletmeler rekabet avantajı elde edebilir ve operasyonel verimliliği artırabilirler. (Yılmaz & Kuvat,2021)

### **3.6.2 Büyük Veri ve Lojistik**

Büyük veri analitiği (big data), akıllı nesneler hakkında sürekli olarak bilgi sağlayan ağ bağlantılı bir sistemdir. Sağlanan bilgilerin anlaşılması işlem gücü, analitik beceriler ve bilgi yönetimi uzmanlığı gerektirir. Endüstri 4.0 veri analitiği, veri işleme yeteneklerini geliştirir ve karmaşık ve belirsiz alanlarda bilgi bütünlüğünü sağlar.

Mikroişlemciler ve sensörler, üretim sürecindeki verileri kapsamlı bir şekilde işlemek için ürünlere ve makinelere entegre edilmiştir. Sosyal medya paylaşımları, ağ günlükleri, bloglar, fotoğraf ve video gibi kaynaklardan toplanan veriler işlenerek müşteri ihtiyaçlarına dair tahminlerde bulunulabilir. Bu sayede lojistik hizmetlerine büyük oranda destek sağlanmaktadır.

Büyük veri aynı zamanda müşteri hedefleme, müşteri etkileşimlerini ve alışkanlıklarını anlama gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Amazon'un öngörmeli sevkiyat uygulaması, müşterilerin önceki satın alma ve arama alışkanlıkları gibi

verileri analiz ederek kişiselleştirilmiş öneriler sunarak müşteri ihtiyaçlarını karşılama hedefini gerçekleştirir (Kutlu, 2023).

Lojistik sektöründeki öncü şirketler, büyük veri teknolojilerinden yararlanarak tüm lojistik süreçlerini etkin bir şekilde yönetme yeteneğine sahip olmuşlardır. Küresel ticaretin yaygınlaşmasıyla birlikte uluslararası faaliyet gösteren lojistik firmaları, dünyanın dört bir yanına hizmet sunmaktadır. Bu geniş hizmet ağı, başarılı bir şekilde işlemesi için tüm lojistik süreçlerin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesini gerektirir. Bu kontrol yeteneğine sahip olan şirketler, lojistik sektöründe öncü konumlarını korumuşlardır.

Büyük veri, lojistik operasyonlarında gerçek zamanlı rota planlamaya olanak sağlar. Rota planlama, geleneksel optimizasyon uygulamaları, doğrusal programlama, gezici satıcı yöntemleri ve trafik problemleri gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Ancak bu yöntemler başlangıçta toplanan verilere dayanmaktadır ve veriler eş zamanlı olarak kullanılamaz. Bu nedenle her zaman en etkili ve doğru sonuçları vermeyebilir ve planınızdaki değişikliklere uyum sağlayamayabilir.

Büyük veriden yararlanılarak veri analizi anında gerçekleştirilerek koşulların ihtiyaçlara göre değerlendirilmesi ve daha verimli operasyonların gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin yüklü araçlar, taşıma sırasında alınan verilere göre yeniden yönlendirilebilir. Bu veriler trafik, hava koşulları ve teslimat siparişi gibi faktörleri içerebilir. Bu sayede rota değiştirirken verimlilik kayıpları da dikkate alınarak en iyi sonuçlara ulaşılabilir.

Gerçek dünyadan bir örnek olarak, UPS, 2001'den bu yana rota optimizasyonu sayesinde 39 milyon galon yakıt, 364 milyon mil sürüş ve 10 milyon dakika zaman tasarrufu sağlamıştır. Bu, büyük veri kullanımının lojistik süreçlerin verimliliği üzerindeki olumlu etkisinin bir örneğidir (Demiral, 2021).

### **3.6.3 Siber Fiziksel Sistemler ve Lojistik**

"Siber-fiziksel sistemler" terimi ilk kez 2006 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Lee tarafından bilgisayar sistemlerinin fiziksel dünyayla artan etkileşimini vurgulamak için kullanılmıştır. Bu sistem, değer zincirindeki tüm aktörleri kapsayan, internet gibi altyapı sistemleri üzerinden haberleşebilen yazılım bileşenleri ile mekanik ve elektronik parçalardan oluşan akıllı ağ bağlantılı bir sistemdir. Bu akıllı ağ yapısı sayesinde Endüstri 4.0'ın önemli bir parçası olan siber-fiziksel sistemler, gerçek ve sanal dünyalar arasındaki sınırları kısmen ortadan

kaldırma potansiyeline sahiptir. Bu sistemin etkin çalışabilmesi için özel iletişim algoritmaları ve yazılımları kullanılmaktadır. Sensörler ve aktüatörler kullanılarak fiziksel dünyadan elde edilen veriler sanal bilgisayar dünyasına aktarılır. Genel çalışma prensibi şu şekildedir: RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi, bilgisayar veya mikroişlemci gibi benzer işlevselliğe sahip bir arayüze bilgi iletmek için nesneleri tanımlayabilen bir radyo frekansı sistemi kullanır. Bu arayüzler, elde edilen verilerin bilgi işlem sistemlerine işlenmesini ve iletilmesini sağlar (Kutlu, 2023).

Lojistikte siber fiziksel sistemlerin kullanımı, taşıma rotalarının optimize edilmesinden depo yönetimine, malzeme hareketliliğinden paketleme süreçlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Örneğin, akıllı sensörler ve IoT cihazları, lojistik operasyonlarda gerçek zamanlı veri toplamayı ve analiz etmeyi mümkün kılarak stok seviyelerini optimize eder ve operasyonel verimliliği artırır. Ayrıca, yapay zekâ destekli talep tahmini ile müşteri talepleri daha doğru bir şekilde öngörülerek stok maliyetleri minimize edilebilir. Bu sayede işletmeler, rekabet avantajı elde ederken aynı zamanda operasyonel süreçlerini daha verimli hale getirebilirler.

#### **3.6.4 Otonom Robotlar ve Lojistik**

Otonom robotlar, yapay zekâyâ sahip sistemler olarak kabul edilen, otomatik iş yapabilme yeteneğine sahip robotlardır. Bu tür robotlar özellikle lojistik alanında depo yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Depo içinde RFID, sensör ve otomatik raflama gibi teknolojilerle birleşerek kullanıldıkça, gelişme ve iyileşme fırsatları bulmuşlardır. Bu gelişmeler, otomatik robot teknolojisinin önemli ölçüde ilerlemesine yol açmıştır. Otonom robotlar, çalışma alanlarında diğer robotlar ve insanlar arasında uyumlu bir şekilde çalışarak hızlı çözümler sunabilirler. Bu nedenle birçok endüstri üreticisi, karmaşık durumların üstesinden gelmek ve verimliliği artırmak için robot teknolojisini kullanmaktadır. Örneğin, Çin'in önde gelen perakendecisi "jd.com", depolarında gelişmiş robotlar kullanarak dünyanın ilk insansız deposunu kurmuştur (Kutlu, 2023).

Sürücüsüz araçların lojistik alanında kullanımı artmaktadır. Bu araçlar gerekli verilerin elde edilmesi için tamamen sensörlerle desteklenmektedir. Verilerin çoğu, aracın çevresini yakalayıp haritalayabilen görüntüleme kameraları, radar ve ultrason tarafından toplanmaktadır. Bu haritayı temel alan bir hareket planlama algoritması, aracın hangi hareketi yapması gerektiğini belirler. Dünyanın en büyük uluslararası lastik ve orijinal ekipman üreticilerinden biri olan

Continental, sürücülerin araçlarına entegre teslimat robotları sayesinde ürün teslimatını daha hızlı ve verimli hale getirir. Sürücüsüz araçlarla yapılan bu teslimatların kapasitesinin artmaya devam etmesi ve böylece zaman kaybını azaltması beklenmektedir (Demiral, 2021).

Lojistik faaliyetlerde robotik sistemlerin kullanılması bir miktar başarı sağlasa da henüz istenilen aşamaya ulaşamamıştır. Mevcut robotların çoğu otonom değildir ve insan operatörlerine veya müdahaleye ihtiyaç duyulmaktadır. Otonom robotlar ise Nesnelerin İnterneti, uzaktan algılama sistemleri ve diğer teknolojiler tarafından desteklenmekte ve görevleri insan müdahalesine gerek kalmadan otomatik olarak tamamlayabilmektedirler. Otonom robotlar gerektiğinde etkinleştirilebilir. Çalışma saatleri veya mola süreleri konusunda herhangi bir kısıtlama yoktur.

Siber-fiziksel sistemler üzerinden müşteri veya sistem isteklerine algoritmalar kullanarak yanıt verir. Robotlar insan müdahalesine ihtiyaç duymadan aksiyon alabilmektedirler. Örneğin bir ürünün stoğu azaldığında bu bilgi bir sensör aracılığıyla sisteme gönderilir. Sistem depodaki stokları kontrol eder ve bir ürünün stokta kalmaması durumunda üretime başlama veya üretim hızını artırma gibi komutlar otomatik olarak robota gönderilir. Böylece veri analizi ve algoritmalar sayesinde otonom robotlar, ihtiyaçlarını önceden tespit edip müdahaleye gerek kalmadan operasyonlarını optimize edebilmektedir.

### **3.6.5 Üç Boyutlu Yazıcılar ve Lojistik**

"3D baskı" veya eklemeli imalat, üç boyutlu çizim veya modelin katman üzerine katman eklenerek fiziksel bir nesnenin oluşturulduğu bir teknolojidir. Bu yöntem, dijital şablonlar kullanılarak malzemenin üç boyutlu bir nesneye dönüştürülmesini sağlar. Günümüzde birçok sektörde kullanılan 3 boyutlu yazıcılar, hızlı prototipleme teknolojisiyle gelişerek yaygınlaşmıştır.

Lojistik açısından bakıldığında, 3D baskı teknolojisi doğru malzemenin, doğru miktarda, doğru yerde, doğru zamanda, doğru durumda, doğru tüketiciye ve doğru fiyata ulaşmasını sağlayarak önemli etkiler yaratır. Bu teknoloji sayesinde mobil üretim araçları kullanılarak daha yakın lokasyonlarda üretim gerçekleştirilmesi mümkün olur, böylece nakliye ve dağıtım maliyetleri azalır. Ayrıca tedarik zinciri uzunluğu ve karbon salınımı da azalır. 3D baskı, depolama alanında da yedek parça üretimini kolaylaştırarak depolama masraflarını azaltır. Gelecekte, 3D baskı teknolojinin lojistik endüstrisi üzerindeki etkisinin daha da

artması beklenmektedir. Bu teknoloji sayesinde ürünler tüketiciye daha yakın hale getirilecek, bölgesel lojistik ağları genişleyecek ve nakliye maliyetleri azalacaktır. 3D baskı, özellikle yedek parça ihtiyacını karşılamak için kullanıldığında, uzun mesafe taşımalarda ürün zararını azaltacak ve yerel tedarik zincirlerine katkı sağlayacaktır (Sezgin, 2021).

3D teknolojisi zirveye ulaştığında bile lojistik faaliyetler önemini korumaktadır. Ancak elleçleme ve depolama gibi bazı geleneksel süreçler neredeyse tamamen ortadan kalkabilir, taşıma ve dağıtım yöntemleri de değişebilir. Bu değişikliklerin lojistik sektöründe çalışan sayısında azalmaya yol açabileceği ancak yüksek hızlı kurye ağları gibi çözümler nedeniyle bu azalmanın oluşabileceği, hatta artabileceği öngörülmüyor. Lojistik süreçlerdeki bu değişim, yapılan yatırımların atıl hale gelme riskini taşıyabilir. Bu bağlamda geleceğe yönelik uygun stratejiyi belirlemek ve bu yeni teknolojik değişimi fırsata dönüştürmek için 3D baskı teknolojisinin getirdiği tüm bu avantaj, dezavantaj ve sorunları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Lojistik sektörünün gelecekte nasıl gelişeceğini anlamak, bu değişimlere uygun şekilde yanıt vermek ve yeni teknolojilerden en iyi şekilde yararlanmak oldukça önemlidir.

### **3.6.6 Artırılmış Gerçeklik ve Lojistik**

Artırılmış gerçeklik, gerçek ve sanal dünyaların birleştirildiği bir kavramdır. Her ne kadar terim bazen sanal gerçeklikle karıştırılsa da aslında iki farklı kavramı ifade eder. Sanal gerçeklik tamamen sanal bir ortam sağlayarak gerçek dünyayla bağlantıyı keserken, artırılmış gerçeklik ise gerçek dünyaya sanal veriler ekleyerek çalışmaktadır. Dolayısıyla artırılmış gerçeklik, sanal bilgilerin gerçek ortamda görsel olarak görüntülendiği bir teknolojiyi temsil etmektedir. Bu da özellikle lojistik alanında yeni bir bakış açısı getirir. Artırılmış gerçeklik, lojistik şirketlerinin iş süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur. Bu teknolojiyi benimseyen lojistik firmaları, maliyetlerin düşürülmesi, kaynakların verimli kullanılması, hata oranlarının en aza indirilmesi ve verimliliğin sürekli artması gibi alanlarda avantajlar elde etmiştir. Artırılmış gerçeklik ile sanal verilerin gerçek dünyadaki operasyonlara entegre edilmesiyle daha verimli ve optimize edilmiş iş süreçleri oluşturulabilir. Bu da lojistik sektörünün daha verimli, daha hızlı ve kesintisiz çalışmasına yardımcı olmaktadır.

Kişisel bilgisayarlardan mobil cihazlara kadar teknolojinin, günümüzde insanların dünyayla iletişim kurma ve etkileşimde bulunma biçimi üzerinde büyük

etkisi vardır. Yeni teknolojilerin hemen hemen her sektör üzerinde büyük etkisi olup lojistik sektörü de bunlardan biridir. Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte pek çok farklı sektördeki firmalar, iş süreçlerini iyileştirmek amacıyla artırılmış gerçeklik teknolojisini uygulamaya başlamışlardır. Artırılmış gerçeklik, lojistik sektörüne lojistik planlama ve lojistik faaliyetlerin yürütülmesi açısından yeni bir bakış açısı getirmiştir. Lojistik, maliyetleri önemli ölçüde azaltmak, kaynakları optimize etmek, hata oranlarını azaltmak ve süreç verimliliğini kalıcı olarak önemli ölçüde artırmak için artırılmış gerçeklik teknolojisini ve süreçlerine entegrasyonu uygulayan sektörlerden biridir. Ayrıca lojistik alanı, süreçleri yöneterek, çalışanların karar vermesine yardımcı olarak, çalışma koşullarını iyileştirerek, iş arkadaşlarıyla uzaktan bağlantı kurarak ve destek sağlayarak sorunları çözme ve gerçek dünyaya dahil olma fırsatları sunmaktadır. Günümüzde işletmeler bu avantajlardan fazlasıyla yararlanmaya başlamıştır (Yılmaz ve Duman, 2019).

Lojistik depolarda sipariş hazırlama işlemlerinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanımına dair literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Geleneksel yöntemlerde, depo faaliyetleri genellikle kâğıt tabanlı olarak gerçekleştirilmekte ve çalışanlar manuel olarak rafları dolaşarak siparişleri hazırlamaktadır. Ancak son zamanlarda, bu süreçte iki farklı yöntem eklenmiştir. Bunlardan biri "pick-by-voice" olarak adlandırılan yöntemdir. Bu yöntemde, çalışanlar bir kulaklık aracılığıyla bilgisayar tarafından yönlendirilerek gerekli ürüne ulaşırlar. Ancak bu sistem, depolardaki yüksek ses seviyeleri nedeniyle istenilen başarıyı elde edememiştir. Diğer bir yöntem ise "pick-by-light" olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde ise depo raflarına yerleştirilen ışık sistemleri aracılığıyla çalışanlar yönlendirilir. Ancak bu sistem de maliyetli olduğu için geniş çapta kullanılmamış ve yeni çözüm arayışlarına yol açmıştır. Şu anda en yaygın olarak kullanılan yöntem ise gözlük veya tablet gibi araçlar aracılığıyla görüntü tabanlı artırılmış gerçeklik sunmaktır. Bu teknoloji sayesinde çalışanlar, gerçek dünyadaki ortamı görebilirken aynı zamanda artırılmış gerçeklik ile yönlendirilerek sipariş hazırlama işlemlerini gerçekleştirebilirler. Bu yöntem, daha etkili ve verimli bir sipariş hazırlama süreci sağlamak için kullanılmaktadır (Seyhan, 2019).

### **3.6.7 Bulut Bilişim Sistemleri ve Lojistik**

21.yüzyılda teknoloji hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmiş, giderek yenilikçi ve gelişen teknoloji dünyası sadece kendi alanını değil birçok alanı da

etkilemiştir. Endüstri 4.0 ile sanayi sektöründe yaşanan yenilikler lojistik sektörünü büyümeye ve gelişmeye itmiştir. Lojistik; Envanter yönetimi, depo yönetimi, müşteri hizmetleri ve BT yönetimi süreçlerinin kusursuz bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir ancak sürekli değişen bir sektörde bunları kontrol etmek zor olacaktır. Bu nedenle lojistik şirketleri dijitalleşmeye odaklanmış ve altyapılarını değiştirmiştir

Bulut bilişim teknolojisi, internet üzerinden uzak sunucularda çalışan uygulamaların işletilmesini ve kullanıcıların istedikleri yerden gerçek zamanlı erişim sağlamalarını mümkün kılan bir hizmet yapısı olarak tanımlanabilir. Bu teknoloji, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerinde birçok aktörün entegre edilmesi gerektiği bir ortamda önemli bir rol oynamaktadır. Bulut bilişim ve bilgi teknolojileri kaynakları (donanım, yazılım, veri havuzları) sayesinde lojistik şirketleri tedarik zinciri boyunca iletişim ve iş birliği sağlayabilmektedirler.

Bulut bilişim hizmetleri sayesinde, küresel ölçekte sipariş, stok, sevkiyat ve izleme gibi bilgilere her an ve her yerden erişim sağlanarak küresel izlenebilirlik mümkün hale gelir. Bulut bilişim mimarisi, manuel olarak gerçekleştirilen işlemlerin otomasyona entegre edilmesi yoluyla zaman ve maliyet tasarrufu sağlar ve verimliliği artırır.

Transporeon gibi bulut tabanlı lojistik platformlar, büyük bir ağ oluşturarak nakliyeciler, yükleyiciler ve diğer paydaşlar arasında şeffaf iletişim ve iş birliği sağlar. Örneğin, Transporeon platformu 55.000 nakliyecisi, 1.000'den fazla yükleyici ve 150.000 kullanıcıyı bir araya getirerek sipariş yönetimi, yükleme zamanları, izleme sistemleri gibi özellikleri şeffaf bir şekilde sunar ve tüm kullanıcılar arasında etkili bir iletişim ağı kurar. Bu sayede lojistik süreçleri daha verimli ve iş birliğine dayalı bir şekilde yönetilebilir (Sezgin, 2021).

Bulut bilişim sistemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

*Bulut Teknolojisinin sağladığı avantajlar;*

- Bulut bilişim sistemi API ile hızlı ve kolay kullanım sağlar.
- Daha fazla depolama alanına sahip olmak, hızlı veri aktarımı ve bu yedeğin kaydedilmesi gibi birçok fırsat sunar.
- Artan veri depolama, kullanıcı yetkilendirme ve takibi gibi sorunların yarattığı altyapı karmaşıklığı ortadan kalkar.

- Bulut teknolojisi yazılımları web tarayıcısı üzerinden çalıştığı için bilgisayar, tablet, akıllı telefon ve akıllı TV'lerde kullanarak platform bağımlılığından korur.
- Bulut yazılım hizmeti veren firmaların veri sunucuları, 7/24 yazılım ve donanım güvenlik önlemlerini uyguladıkları için ana bilgisayarlara göre daha güvenlidir.

Özetle; Bulut bilişim, kurulum gerektirmeyen ve her yerden çalışmaya imkân tanıyan çok daha ucuz bir hizmettir.

#### *Bulut Teknolojisinin dezavantajları;*

- Bulut teknolojisi hizmetlerini kullanarak veri depolamak, kullanıcı verilerini riske atar ve kullanıcı bilgilerinin güvenliğini ve gizliliğini sağlayamaz. Birçok güvenlik açığı vardır.
- Ülkelerin ekonomik durumuna bağlı olarak dijital uçurum artacaktır ve uluslararası, siyasi ve ekonomik sorunlara yol açacaktır.
- En önemli konu saklanan verilere ulaşabilmek için internet bağlantınızın olması gerekmektedir. Yani internet olmadan bilgilere ulaşılamamaktadır. Eğer düşük hızlı bir internet bağlantısı varsa veri aktarım hızı da yavaş olacaktır.
- Dezavantajlarından biri de hizmetler büyüdükçe donanım ve yazılım bakım ve onarım maliyetlerinin azalması ve dolayısıyla bu işi yapan bilgi teknolojileri (BT) profesyonellerinin istihdam alanının azalmasıdır

### **3.6.8 Entegre Sistemler ve Lojistik**

Bilgi teknolojilerinin doğru ve başarılı bir şekilde uygulanması ve kullanılması, işletmenin rekabet gücünü korumasını sağlar. Etkin bir kullanım ile maliyetler azalır, optimum envanter takibi ile müşteri memnuniyetinin artması sağlanır.

Lojistik operasyonlarının doğru bir şekilde yerine getirilmesi, iyi bir bilgi paylaşımı ve yönetim sisteminin oluşturulması ile sağlanır. Sipariş işlemleri, satın alma, envanter yönetimi, üretim faaliyetleri, dağıtım, müşteri hizmetleri gibi çeşitli konular tedarik zinciri içerisinde teknolojik imkanlar sağlanarak yönetilmektedir. Bu işleyiş sadece doğru bir bilgi paylaşımı ile sağlıklı bir şekilde yönetilecektir

Lojistik operasyonları için entegre edilen sistemler aşağıdaki gibidir;

*Taşıma Yönetim Sistemleri (TMS):* Taşıma yönetim sistemleri, işletmelerin hem gelen hem de giden ürünlerin fiziksel olarak taşınmasını planlamak, yürütmek ve optimize etmek için kullandığı sistemlerdir.

Taşımacılık yönetim sisteminin temel fonksiyonları; kara taşımacılığı rota planlaması ve optimizasyonu, taşıma türü ve taşıyıcı seçimi, hava ve deniz taşımacılığı yönetimi, gerçek zamanlı araç takibi, araç kalite kontrolü hizmetleri, araç yükleme ve rotaların optimizasyonu, taşıma maliyeti optimizasyonu, sipariş konsolidasyonu, maliyet yönetimi, rotalama, yük izleme, sözleşme yönetimi ve filo yönetimidir (Saatçioğlu, 2019).

Bu sistemler taşıma sürecinin yönetimi ve takibinde stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere destek sağlar. İşletmenin kendi lokasyonları ile tedarikçi ve müşteri lokasyonları arasındaki sevkiyatların rotalarını belirlemede, yüklerin oluşturulmasında, taşıyıcı seçimlerinde, nakliye ücretlerinin belirlenmesinde aynı zamanda sevkiyatların çizelgelenmesi ve takibinde, sevkiyat ile ilgili dokümantasyonun yapılmasında, ödeme süreçlerinin takibinde avantajlar sağlayan yönetim sistemleridir. Bu yazılımlar ile işletmelerde, sevkiyat maliyetleri düşürülür, sipariş karşılama süreleri azalır, müşteri hizmet seviyesi artar, firmanın nakliye aktiflerinin daha verimli kullanılması sağlanır.

*Araç Takip Sistemleri:* Araç takip sistemleri, mobil araç teknolojileri ile araçların konum ve durum bilgilerini grafiksel ve metin olarak bilgisayar ve mobilden takip edebilme imkânı sağlayan sistemlerdir. Aynı zamanda araçlar hakkında konum ve veri analizleri yaparak birbirleri ile ilişkilendirip daha verimli hale getirmeyi sağlar. Bu sistemler; sipariş sürelerinin kısaltılması, ters lojistik ile iade gönderilerinin verimli yönetilmesi, e-tedarik zinciri yönetimi maliyetlerinin düşürülmesi gibi önemli faydalar sağlar.

*Depo Yönetim Sistemleri (WMS):* Depo yönetim sistemleri bir firmanın mal kabul, yerleştirme, toplama, ikmal, paketleme, envanter sayımı, optimum sipariş miktarı ve emniyet stoku, taşıma, dağıtım ve imha maliyetlerinin takibi, ürün saklama özellikleri, raf ömrü takibi, tedarik süreleri ve güncellenmesi, tedarikçi promosyonları, mevsimsel fiyat değişikliği takibi, potansiyel stok fazlası ve stok yetersizliği durumlarının takibi gibi depo ya da dağıtım merkezlerindeki tüm süreçlerin gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesine ve takibine yardımcı olan yazılımlardır. Depo yönetim sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması ile hata oranının en düşük seviyeye indirgenmesini sağlar.

Talep arttıkça operasyon yönetimi zorlaşır, bu nedenle araç seçimi ve ürün yerleştirme planlaması için depo yönetim sistemi şarttır. Sistem kullanıldıkça depolanan eşyalar özelliklerine, kapasitelerine ve ağırlıklarına göre doğru bir şekilde sınıflandırılır. Depo bilgi sistemleri, özellikle farklı müşterilerden gelen gönderileri birleştirirken maliyet, güvenlik ve verimlilik sağlar.

Depo yönetim sistemlerinin maliyetleri azaltmada ve müşteri hizmet seviyelerini iyileştirmede büyük etkisi vardır. Ekipman ve personelin optimize edilmesi maliyetlerin azaltılmasında etkilidir. Sipariş yönetim sistemi ile depo yönetim sisteminin entegre edilmesi, mal akışının iyileştirilmesine ve müşteri hizmetlerinin iyileştirilmesine etkin bir şekilde katkıda bulunur. Depo yönetim sistemini diğer sistemlerle entegre ederek tedarik zincirinde teslimat sürelerinin azaltılmasına etkin bir şekilde katkıda bulunur (Saatçioğlu, 2019).

*Sipariş Yönetim Sistemleri (OMS):* Sipariş yönetim sistemleri ile sipariş edilen ürünün, istenilen yerde, istenilen zamanda ve istenilen miktarda hazır bulundurulması sağlanır. Bu sistemler kargo sistemleri ile iyi bir şekilde entegre olmuştur, böylece teslim edilemeyen ya da geri dönen siparişlerin etkin yönetimi ile müşteri memnuniyetinin artırılmasında önemli bir yer tutar.

Sipariş yönetim sistemleri, müşteri memnuniyetinin artırılmasında, müşterilerin doğru yönlendirilmesi ile sipariş hatalarının azaltılmasında, firmanın sipariş esnekliğinin kazandırılmasında, sipariş değişkenlik etkisinin en aza indirgenmesinde ve sipariş verilme ve hazırlama hızının artmasında etkilidir.

OMS; satışların, siparişlerin, stokların ve siparişlerin karşılanmasının takibini otomatikleştiren bir bilgisayar yazılım sistemidir. Bu çözümlerden bazıları markaların çalışanlarını, süreçlerini ve ortaklıklarını takip etmesine yardımcı olmaktadır. Müşteri siparişlerinin yönetimiyle ilgili tüm fonksiyonların ele alınması, çalışan personelin ve müşterilerin süreci baştan sona izlemesine ve verimliliğini analiz etmesine olanak tanımaktadır. Sipariş yönetimi süreci boyunca sıkıcı manuel adımları otomatikleştirerek çalışan personelin kaynakları verimli bir şekilde kullanmasıyla zamandan ve paradan tasarruf edilmektedir. İşletmeler ne kadar büyük olursa olsun, çeşitli dijital kanallardan ürün siparişi veren müşterilerin beklentilerini karşılayabilmeye olanak sağlar.

*Kurumsal Kaynak Planlama (ERP):* Kurumsal kaynak planlaması, işletmelerde mal ve hizmet üretimi için gereken işgücü, makine, malzeme gibi kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan bütünsel yönetim

sistemleridir. Bu sistem, işletmelerin kaynaklarını en etkin biçimde kullanmasını, iş süreçlerini hızlandırmasını ve maliyetleri düşürerek en üst seviyede verimliliği sağlar.

ERP, birden fazla işletme fonksiyonunu desteklemeyi amaçlamaktadır ve bu nedenle işlevsel bir yapıya sahiptir. Fonksiyonel ERP yazılımı dünya çapında kullanılabilir ve bu nedenle tüm endüstrilerde uygulama alanı bulabilir. Tüm uygulama alanlarında tutarlı bir grafik arayüze sahiptir. Bağımsız bir donanım ve işletim sistemi olduğundan, ERP satıcısının önerdiği ve onayladığı yazılım ve donanımlarla kullanılması, ortaya çıkabilecek riskleri en aza indirecektir. Bu sistem, entegre bir veri tabanı ile hem ana verileri hem de iş süreci verilerini korur.

Bu veri tabanının ve ERP'nin temel fonksiyonları; Üretim Yönetimi, İnsan Kaynakları Yönetimi, Finans ve Muhasebe Yönetimi, Sabit Kıymet Yönetimi, Proje Yönetimi, Stok Yönetimi, Satış ve Satın alma Yönetimi' dir. Bu maddeler üzerinden de anlaşılacağı üzere, günümüz şirketlerinin rekabet ortamında ayakta kalmak, farklılaşmak ve hayatta kalabilmek için yeni stratejiler tanımlaması ve yenilikçi yapılar oluşturması gerekmektedir. Bu stratejiler süreçlerde kalite, verimlilik, doğru maliyet yönetimi, hızlı düşünme ve hızlı tepki verme gibi faktörleri içerir. Tüm bunları başarmak için kıt kaynakların verimli ve etkin kullanılması gerekir ve söz konusu kaynakların temelini hammadde, işçilik, makine, teçhizat, malzeme, teçhizat ve finans kavramları oluşturur. Bu kaynakların verimli ve etkin kullanımı, üretim planlaması ve kontrolünün etkisiyle sağlanabilir.

İşletmelerin kendi organizasyonları içerisinde bunu başarabilmeleri için güçlü, esnek bir yapı içerisinde işin tüm yönlerini destekleyen sağlam, doğru bilgilere ihtiyaçları vardır. Bu sistemler, işletmelere, iş uygulamalarından organizasyon yapısına, lojistikten proje yönetimine, finanstan hizmetlere, dağıtımdan nakliye ve üretime kadar her iş operasyonunun tüm yönlerinde kusursuz performans sağlar ve bunların hepsi ERP ile başarılabılır (Kutlu, 2022).

*Kurumsal Veri Ambarı:* Yönetim ve operasyonel raporlama ihtiyaçlarını karşılamak için tüm şirket bilgilerinin toplanıp bir veri ambarı oluşturulması ve şirket içindeki önemli bilgilere her detayda erişilmesi son derece önemlidir. Tüm analiz ve raporlamaların aynı kaynak kullanılarak yapılmasını sağlar. Farklı sistemler (ERP, sektöre özel yazılımlar gibi) tarafından üretilen bilgilerin konsolidasyonuna ve analizine olanak tanır ve aynı zamanda üst düzey karar destek sistemleri oluşturmak için de kullanılır.

*Elektronik Veri Değişimi (EDI):* Elektronik veri değişimi işletmelerin fatura, satış siparişi, envanter seviyesi gibi iş dokümanlarını, aralarında kurulan özel bir bilgi sistemleri altyapısı üzerinden transfer etmelerine imkân sağlayan sistemdir. EDI ile kâğıt kullanımı en aza indirgenir ve insan kaynağı daha verimli kullanılır. Aynı zamanda bilgi akışı hızlanır, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap verilmesini sağladığı için müşteri memnuniyeti artar.

*Radyo Frekanslı Kimlik Belirleme (RFID):* Radio Frequency Identification (RFID) veya Radyo frekanslı tanımlama, canlıları ya da nesneleri kablosuz bir şekilde radyo dalgaları ile tanımlamak için kullanılan teknolojilere verilen bir isimdir. Bu sistemde, bir canlıyı ya da bir nesneyi tanımlayan bir antene bağlanan mikroçipin içine farklı bilgiler de kaydedilerek canlı ya da nesne daha belirgin olarak tanımlanır. Anten, çipteki bilgilerin bir okuyucuya iletebilmesini sağlar. Okuyucu RFID etiketinden aldığı radyo dalgalarını dijital bilgiye dönüştürür ve bilgisayar sistemine geçmesini sağlar. Bunun sonucunda işe yarar bir veri oluşur.

RFID sistemlerini kullanmak işletmelerin işlerini daha verimli yürütmelerine, iş süreçlerini planlamalarına ve yönetmelerine olanak sağlar. Nitekim hammadde tedarikinden nihai tüketime ve kullanılan bitmiş ürünün geri dönüşümüne kadar her aşamada farklı iş akışları ve süreçler RFID sistemleri sayesinde yönetilip kontrol edilebilmektedir

*RFID sisteminin amaçları;*

- Dinamik bir veri tabanı oluşturmak ve bu veri tabanında saklanan bilgileri yönetmek
- İnsan arayüzünü kullanmadan veri toplama, hizmet sunumu ve sistem yönetimi gibi faaliyetleri gerçekleştirmek
- Operasyonel maliyetleri en aza indirerek en verimli operasyon seviyesine ulaşmak ( Özdemir ve Beyazıt, 2012).

*Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM) Sistemleri:* Müşteri ilişkileri yönetimi sistemleri, tedarik zincirinin satış sürecinde yer alan pazarlama, satış ve hizmet kavramları çerçevesinde, uzun vadede müşteri ilişkilerinin geliştirilmesini ve bu ilişkilerin güçlendirilmesini amaçlayan yazılımlardır.

CRM'in ortaya çıkmasının nedenleri; kitlesel pazarlamanın gittikçe pahalı bir müşteri kazanma yolu olması, pazar payı değil müşteri payının önemli hale gelmesi, müşteri memnuniyeti ve müşteri sadakati kavramı giderek önem kazanması, mevcut müşterinin değeri ve müşteriye elde tutma çabalarına gerek

duyulması, kişiselleştirilmiş pazarlamanın giderek daha önemli hale gelmesi ve buna bağlı olarak her müşterinin özel ihtiyaçlarına göre hizmet veren stratejilere gereksinim duyulması, şiddetli rekabet ortamı, iletişim teknolojisinin (web, e-posta) ve veri tabanı yönetim sistemlerinin geliştirilmesi (Demir ve Kırdar, 2009).

### **3.6.9 Siber Güvenlik ve Lojistik**

Lojistik sektörü, COVID-19 pandemisi sırasında büyük gelişme kaydetse de bulut depolama gibi dijital teknolojilerin kullanımıyla siber saldırı riskine maruzdur. Bu sektörde olası siber güvenlik krizleri, küresel ekonomiye büyük olumsuz etkiler yaratabilir. Siber güvenlik araştırmacıları, tedarik zincirindeki güvenlik açıklarının ciddi sonuçlara yol açabileceğine dikkat çekmiştir. Önde gelen lojistik şirketleri, kimlik bilgilerinin satıldığı ağ erişim araçlarını tespit ederek siber tehditleri gündemde tutmaktadır.

Sektörün siber saldırılara ne kadar açık olduğu görülmektedir. Özellikle büyük lojistik firmaları, önemli operasyonları ve sistemleri etkileyen siber saldırılara hedef olmuştur. Bu tür saldırılar hem maddi zarar hem de marka itibarı açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle siber güvenlik protokolleri ve önlemleri almak, operasyonel maliyetlerin artmasını engelleyebilir.

Siber güvenlik zafiyetleri lojistik sektöründe veri kaybı, çalınma ve kötüye kullanma gibi tehlikeleri beraberinde getirir. Operasyonel kesinti riski de artar. Bu nedenle güvenlik açıklarını tanımak, ayrıcalıklı erişim yönetimi gibi yöntemlerle siber saldırılara karşı önlem almak önemlidir. Tüm bunlarla birlikte, lojistik sektörü için güvenlik standartlarının belirlenmesi ve uygulanması gereklidir. Ayrıcalıklı hesap giriş yönetimi gibi teknolojiler, veri güvenliği açısından kritik öneme sahiptir (İşte Teknoloji, 2023).

Lojistik sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar, kritik altyapıların korunmasının, tedarik zinciri süreçlerini doğrudan izleyen sistemlerin güvenliğiyle bağlantılı olduğu konusunda hemfikirdir. Kritik altyapılarda çalışanların siber güvenlik standartlarının karşılanmasını sağlayacak düzenlemelere uyması gerekmektedir. Mevcut endüstri standartlarına ve yönetmeliklere uyum, operasyonel ve güvenlik açısından önemli bir zorluktur. Veri erişimi ve güvenliği konusunda ayrıcalıklı hesap kimlik yönetimi, merkezi şifre yönetimi, iki faktörlü kimlik doğrulama veya veri maskeleyme gibi yaklaşımlar, kuruluşların gerekli standart ve düzenlemelere uymasını sağlar.

### **3.6.10 Akıllı Fabrikalar ve Lojistik**

Akıllı fabrika, tüm operasyonların otomasyon teknolojisi kullanılarak yönetildiği, kendini iyileştirebilen bir işletme modelidir. Bu tür fabrikalar, fiziksel ve sanal dünyaların entegrasyonu sayesinde veri alışverişi yapabilen son derece akıllı sistemlerdir. Veri, ürün ve iletişim teknolojilerinin bir araya getirilmesiyle üretim ve tedarik süreçlerini entegre eden akıllı fabrikalar, geleneksel fabrikalara kıyasla daha verimli kaynak kullanımı sağlar. Aynı zamanda özelleştirilmiş ürünlerin depolama ve dağıtım döngüsünü kısaltır, üretimi müşteri talepleriyle eşzamanlı hale getirir.

Akıllı fabrikalar sürekli olarak öğrenme ve gelişme süreçlerine tabi olduğu için "Öğrenen Fabrikalar" veya tamamen insan olmadan çalışabilme yeteneği nedeniyle "Karanlık Fabrikalar" olarak da anılırlar. Bu tesisler, giderek karmaşık hale gelen üretim süreçlerini yönetilebilir seviyelere çekmeye yardımcı olur. Bu şekilde üretim daha cazip, sürdürülebilir ve karlı hale gelir. Akıllı fabrikaların temel amacı, üretimdeki karmaşıklığı ve maliyetleri azaltmak, verimliliği artırmak ve daha hızlı yanıt verme yeteneği kazanmaktır (Şekkeli ve Bakan, 2018).

Akıllı lojistik, akıllı fabrikanın kapsamlı değer yaratma modülleri ile birleştirildiği bir konsepti temsil eder. Akıllı fabrika, tüm üretim süreçlerini otomasyonla iyileştirme yeteneği taşıırken, akıllı lojistik ise malzeme akışını ve ürün dağıtımını optimize eder. Bu nedenle, akıllı fabrikaların etkin çalışması için lojistik sistemleri önemlidir. Akıllı fabrikaların üretim faaliyetleri sürekli ve kesintisiz bir malzeme akışını gerektirir. Bu nedenle fabrikalar arası lojistik, trafik koşullarının değişikliklerini ve beklenmedik aksaklıkları öngörebilen otonom sistemlerle yönetilmelidir. Bu sayede malzemelerin fabrikalar arasında akışı kesintisiz ve verimli bir şekilde gerçekleştirilir (Seyhan, 2019).

### **3.7 Endüstri 4.0'ın Lojistik Sektörüne Etkisi**

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkması ve hızla yayılmasıyla birlikte hem lojistik sektörü hem de rekabette ön planda olan tüm sektörler etkilenmektedir. Lojistik 4.0, pazarda rekabetçi ve başarılı olmayı hedefleyen şirketler için giderek daha önemli hale gelmektedir. Müşteri ihtiyaçlarının etkin bir şekilde karşılanabilmesi için en önemli faaliyetlerden biri lojistiktir. Lojistik süreçlerin otomatikleştirilmesi iş gücüne olan bağımlılığı azaltır, hata oranlarını azaltır ve maliyetleri düşürür.

Endüstri 4.0 süreçleri, pazarlama ve üretim departmanlarını birbirine bağlayan lojistik faaliyetlerinin teknolojik gelişmelere hızla uyum sağlamasını gerektirmektedir (Ak ve Kağncıoğlu, 2021).

Endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne etkisini görebilmek için geçmiş sanayi devrimlerinin doğru analiz edilmesi gerekmektedir. Dördüncü sanayi devrimi gibi diğer sanayi devrimleri de zorunluluktan meydana gelmiştir. Endüstri 4.0 ilerledikçe makinelerin internet üzerinden birbirleriyle iletişim kurması, "tam zamanında" lojistik hizmetlerinin daha verimli çalışmasına veya makine arızalarının önlenmesine olanak tanıyacak, aynı zamanda üretim çıktısındaki kesinti süresini azaltacak ve dolayısıyla kaynakları daha verimli kullanacaktır. Yeni araçlar, yeni yakıt ve enerji kaynakları, altyapı ve yeni istihdam sektörleri başta ulaştırma lojistiği olmak üzere her türlü lojistiği etkileyecektir.

Endüstri 4.0, lojistiğin 7 doğrusu denilen; doğru ürünü, doğru miktarda, doğru şekilde, doğru zamanda, doğru kaynaktan, doğru yolla, doğru fiyata ulaştırmanın her adımını etkileyecektir. Dijital dönüşümü mümkün kılan teknolojiler kısaca CAMPS olarak tanımlanmaktadır. C (Bulut) bulut bilişimi, A (Analitik) büyük veri analitiğini, M (Mobilite) mobil dünyayı, P (Verimlilik) üretkenliği, S (Güvenlik) ise siber güvenliği tanımlamaktadır. Yani dijital dönüşüme ulaşmak isteyen bir organizasyonun bulut bilişimle başlaması ve dönüşümü güvenlikle bitirmesi gerekmektedir.

Lojistik alanında çalışan kişilerin niteliklerinin yanı sıra, lojistik alanındaki mevcut işler ve iş süreçleri de tamamen değişmektedir. Veri lojistiği, veri madenciliği, otonom sistem kontrolörleri ve bugün adını bile bilmediğimiz birçok yeni iş birimi ortaya çıkmaktadır. Yani veri lojistiği en önemli iş süreçlerimizden biri haline gelmiştir.

Sektörün önünü açacak 7 pazar trendi; büyüyen müşteri, büyüyen dijital müşteri tabanı, jeopolitik ve ekonomik gelişmeler, 2008 krizi sonrası diğer segmentlerin büyümesi, nesnelerin interneti, internet platformlarının yükselişi, 3D baskı ve sürücüsüz arabalardır. Dolayısıyla lojistik yönetiminde yeni teknolojilerin kullanımı, yeni nesil mobil sistemler, lojistik sektörde drone kullanımı, akıllı şehir lojistiği, nesnelerin interneti, artırılmış gerçeklik ve optimizasyon araştırmaları bu trendlere yanıt olmaktadır (Öztemel ve Gürsev, 2018).

Lojistik sektöründe rekabet çok güçlü olduğundan değişim kaçınılmazdır. Depo sistemi içerisinde "depo yönetim sistemi"nin etkisi hızla artmaktadır. AS/RS

ve RFID teknolojisi de depo yönetim sisteminin vazgeçilmez bir parçasıdır. Yeni sanayi devrimi sonrasında depolar, operasyonları otomatize edebilecek, online olarak izlenebilecek ve anlık rapor verebilecek bir altyapıya sahip olacaktır. Dronelar depo yönetiminde de kullanılmaya başlanılmıştır. Drone kameralarının bir depodaki malları sayıp belirli bir sıraya göre kaydettiği, böylece çalışanların diğer görevleri tamamlamak için yeterli zamana sahip olduğu uygulamalar vardır. E-ticaret sistemi çok hızlı gelişmekte olup online satışların artması e-lojistik kavramını getirmiştir. Küçük paketlerin uluslararası pazarda yer edindiği ve ekspres hava taşımacılığının hızla büyüdüğü yeni bir döneme girilmektedir. Depo sistemlerinde ve eğitim süreçlerinde sanal gerçeklik gözlükleri büyük önem taşır. Birçok nakliye şirketi, sanal gerçeklik (VR) gözlükleri kullanarak olası yol tehlikelerini tespit etmek için çalışanlarına eğitim vermeyi düşünmektedir. İnsansız araç ve gemilerin kullanımı giderek artması nedeniyle yakın gelecekte insansız araç sayısının da artması beklenmektedir. Veri madenciliği uygulamaları lojistik sektörü için büyük önem taşımakta ve artık talep yönetimi çalışmalarında da etkili olacaktır. Bulut bilişim uygulamalarının lojistik firmaları tarafından sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Endüstri 4.0'ın bileşenleri lojistik sektöründe büyük değişikliklere yol açmakta olup, kısa vadede üretkenliği ve kâr artışlarını önemli ölçüde hızlandırması beklenmektedir (Öztemel ve Gürsev, 2018).

### **3.8 Türkiye'de Lojistik 4.0**

Türkiye'deki iş dünyası örgütleri ve sivil toplum kuruluşları, Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0'un doğru şekilde uygulanması ve yönetilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM), Türkiye Sanayicileri ve İş adamları Derneği (TÜSİAD), Müstakil Sanayiciler ve İş adamları Derneği (MÜSİAD), Uluslararası Yatırımcılar Derneği (YASED) ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) gibi kurumlar, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın liderliğinde "Sanayide Dijital Dönüşümü" Platformu oluşturmuştur. Bu platform, Endüstri 4.0'un işletmelere entegrasyonu için teknik analizler, eğitim, altyapı, teşvikler ve inovasyon çalışmaları yaparak uygulanmasını ve yaygınlaşmasını amaçlamaktadır. Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0'un doğru uygulanması, Türkiye'ye rekabet avantajı, verimlilik artışı, stratejik üstünlük gibi önemli fırsatlar sunacaktır. Bununla birlikte,

dönüşüm sürecinin detaylı analizlerle, planlamayla ve uzman danışmanlarla yönetilmesi gerekmektedir (Şekkeli ve Bakan, 2018).

Ülkemizde Endüstri 4.0 kavramı ve bileşenleri, sanayi ve hizmet sektörlerinin dijitalleşme sürecine dahil olması gerekliliği ile önem kazanmıştır. Ancak ülkemizin geç katılımı ve ekonomik zorluklar nedeniyle bu yeni sanayi devrimine tam anlamıyla öncülük edememiştir. Bu nedenle, devlet ve özel sektörün iş birliği yaparak Endüstri 4.0'a geçişte yoğun bir çaba sarf etmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0 sadece teknolojik araç gereçlerle değil, aynı zamanda insan eğitimi, girişimcilik, inovasyon ve dijitalleşme gibi geniş kapsamlı yaklaşımları içerir. Lojistik sektörü, rekabetin yoğun olduğu ve sürekli değişen bir ortamda faaliyet gösterdiği için özellikle teknolojiye ve yeniliklere ihtiyaç duyar. Ülkemizin coğrafi avantajları ve lojistik potansiyeli göz önüne alındığında, tüm taşımacılık türlerinde ve lojistik yönetiminin bileşenlerinde dijitalleşmeye hızla adapte olması gerekmektedir (Öztemel ve Gürsev, 2018).

Türkiye için yapılan bir çalışmada 2017 yılından bu yana Türkiye’de lojistik trendlerinin Süpergrid Lojistik, sürücüsüz araçlar, robotik, otomasyon, IoT, Bulut Lojistik ve Büyük Veri yönünde değiştiği bulunarak, Türkiye'deki şirketlerin e-ticarete yatırım yapsa da maliyet ve rekabet baskıları nedeniyle tereddüt ettiği ifade edilmiştir (Aylak vd., 2020). Bir çalışmada ise, Türkiye’de kurumsal lojistik şirketlerinin geleceği tahmin etmek için büyük veriyi kullandığını bulmuştur ve pek çok şirket, geleceğe yönelik planlar yapmak için verileri analiz etmekten ve sunmaktan fayda sağlamaktadır. Çalışma ayrıca, düşük eğitim seviyesine ve az deneyime sahip çalışanların teknolojik gelişmelere direnç gösterdiğini de ortaya koymuştur. Bunu aşmak için ise lojistik şirketlerinin, büyük veri konusunda hizmet içi eğitim sağlaması ve büyük veriye uyum sürecini çalışanlarına öğretmesi gerektiği sonucuna ulaşmıştır (Dinç ve Korkmaz, 2021)

### **3.9 Dünya'da Lojistik 4.0**

Dünya genelinde Lojistik 4.0, tedarik zinciri yönetiminde dijitalleşme ve otomasyonun hızla yayıldığı bir dönemi ifade eder. Çeşitli ülkeler ve şirketler, bu dijital dönüşümü benimseyerek lojistik operasyonlarını daha akıllı, verimli ve esnek hale getirmeye çalışmaktadır.

Dünyada Lojistik 4.0'ın bazı örnekleri:

*Almanya:* Almanya, Endüstri 4.0 kavramının doğuş yeridir ve lojistik sektöründe de bu prensipleri benimsemiştir. Almanya'nın lojistik sektörü, akıllı

depo yönetimi, otonom taşıma araçları ve IoT tabanlı envanter izleme sistemleri gibi yenilikçi teknolojileri benimseyerek sürekli olarak dijitalleşme yolunda ilerlemektedir.

*ABD:* Amerika Birleşik Devletleri'nde, e-ticaretin hızla büyümesi ve tüketici beklentilerinin artmasıyla birlikte lojistik sektöründe de dijital dönüşüm hız kazanmaktadır. Büyük lojistik şirketleri, depo otomasyonu, drone teslimatı ve yapay zekâ destekli envanter yönetimi gibi teknolojileri benimseyerek operasyonlarını iyileştirmeye çalışmaktadır.

*Çin:* Çin, dünyanın en büyük e-ticaret pazarlarından birine sahiptir ve bu nedenle lojistik sektöründe de büyük bir dijital dönüşüm yaşanmıştır. Çinli e-ticaret devleri, robotik depo sistemleri, hızlı teslimat drone'ları ve yapay zekâ destekli lojistik planlama sistemleri gibi teknolojileri kullanarak operasyonlarını optimize etmektedir.

*Japonya:* Japonya, lojistik sektöründe robotik teknolojilerin ve otonom taşıma araçlarının kullanımında öncü bir ülkedir. Japon lojistik şirketleri, otomatik sınıflandırma sistemleri, otonom kamyonlar ve lojistikte yapay zekâ kullanımı gibi yenilikçi çözümleri benimseyerek operasyonlarını modernize etmektedir.

*Avrupa Birliği:* Avrupa Birliği, lojistik sektöründe dijitalleşmeyi teşvik etmek için çeşitli politikalar ve finansal destekler sağlamaktadır. Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde lojistik şirketleri, tedarik zinciri görünürlüğünü artırmak, sürdürülebilirlik çabalarını desteklemek ve verimliliği artırmak için Lojistik 4.0 teknolojilerini benimsemektedir.

Bu örnekler, dünya genelinde lojistik sektöründe gerçekleşen dijital dönüşümü yansıtmaktadır. Lojistik 4.0, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine, operasyonel maliyetleri düşürmelerine ve müşteri memnuniyetini artırmalarına yardımcı olur

### **3.10 Lojistik 4.0 için SWOT Analizi: Lojistik 4.0 için Fırsatlar, Tehditler ile Lojistik 4.0'ın Güçlü ve Zayıf Yönleri**

Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 kavramları, günümüzde birçok sektörde köklü değişiklikler yapmayı hedefleyen yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda Türkiye'de Lojistik 4.0 sektörünü daha iyi anlayabilmek için bir SWOT Analizi yapılmıştır. SWOT analizinin tohumları, 1950'lerin başında, ABD Hükümeti ile büyük şirketler arasında "büyüklüğe karşı savaş" olarak bilinen dönemde filizlenmeye başlamıştır (Puyt vd., 2023). Bununla birlikte, SWOT

analizinin, 1960'larda Harvard Business School'da geliştirildiğini ve stratejik planlama süreçlerinde etkili bir araç olduğu belirtmek mümkündür (Nobrega vd., 2021) Bu analiz, bir yapının güçlü (strengths) ve zayıf (weakness) yönleri ile fırsat (opportunities) ve tehditlerini (threats) belirlemeye olanak tanır. SWOT analizi, niteliksel olarak değerlendirilmeyen çeşitli faktörlerin belirlenmesini sağlayarak, özellikle kısa vadeli stratejilerin geliştirilmesinde değerli bilgiler sunar (Szum & Nazarko, 2020). Böyle bir değerlendirme, incelenen anın fotoğrafını çekerek en önemli faktörlerin seçilmesine imkân tanır.

Lojistik 4.0 için yapılan SWOT analizinde öncelikle teorik temele dayanarak, araştırmanın konusu ile ilgili önemli konular belirlenmiş ve uzmanlarla yapılacak görüşmeler için uçlu sorular hazırlanmıştır. Bu görüşmeler sırasında uzmanların, her konuyu ayrıntılı bir şekilde ele alabilmesi amaçlanmıştır. Analizin sonraki aşaması, bu görüşmelerin gerçekleştirilmesiyle tamamlanmıştır. Yapılan görüşmeler sonucunda nitel veriler toplandıktan sonra, bu verilerin analiz edilmesi için tablolar oluşturulmuş ve toplanan bilgilerin içerik analizi yapılmıştır.

Mayıs 2024'te gerçekleştirilen araştırma kapsamında, Türkiye'de faaliyet gösteren yedi farklı lojistik firmasının yetkilileriyle görüşmeler yapılmıştır. Görüşülen yetkililer, lojistik operasyonların yönetiminde çalışan nitelikli profesyonellerdir. Bu görüşmelerde, Lojistik 4.0 uygulamalarının günümüzdeki olumlu ve olumsuz yönleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. İnceleme, özellikle gıda, kimya, otomotiv ve inşaat gibi temel sektörlerdeki lojistik süreçlere odaklanmıştır. Amaç, bu sektörlerdeki lojistik yöneticilerinin mevcut şartlarda Lojistik 4.0 uygulamalarının sağladığı güçlü ve zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri belirlemektir.

Görüşmelerin sonucunda, Lojistik 4.0'ın insan kaynakları yönetimi üzerindeki etkileri öne çıkan bir konu olmuştur. Bu teknoloji temelli yaklaşım, etkili performans yönetimi ve süreç optimizasyonu gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Lojistik 4.0'ın sunduğu otomasyon ve veri analitiği imkanları, çalışanların daha verimli çalışmasını ve süreçlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde operasyonların daha az insan müdahalesi ile gerçekleştirilmesi sağlanabilir, bu da iş süreçlerinin hızlanmasına ve maliyetlerin düşmesine katkıda bulunur. Ayrıca, bu teknoloji çalışanların eğitim ve gelişim olanaklarını artırarak onları yeni yetkinlikler kazanma yolunda teşvik edebileceği görüşme sonrası ortaya çıkmıştır.

Bununla birlikte, görüşmelerde Lojistik 4.0'ın bazı olumsuz yönleri de ele alınmıştır. Otomasyonun artması, özellikle katma değeri düşük işlerde çalışan personelin işlerini kaybetme riski ile karşı karşıya kalmasına neden olabilir. Bu durum, istihdam oranlarının azalmasına ve iş gücü piyasasında dengesizliklere yol açabilir. Araştırmaya katılan yetkililer, teknolojik gelişmelerin insan kaynağı ihtiyacını azaltacağına dair yaygın bir algının olduğunu belirtmişlerdir. Bu algı, çalışanlar arasında iş güvencesi endişelerine ve moral bozukluğuna yol açtığını belirtmiş olup, firmalar bu tür endişeleri gidermek için çalışanlarına yeni beceriler kazandırmayı ve onların dijital dönüşüme uyum sağlamalarını hedeflemeyi planlamaktadır.

Araştırmaya katılan lojistik firmaları, bilgi teknolojilerinin etkin kullanımıyla tüm paydaşları içeren, insan odaklı ve değeri yüksek organizasyonlar oluşturmayı amaçladıklarını belirtmiştir. Bu durum, firmaların teknolojiyi sadece operasyonel verimliliği artırmak için değil, aynı zamanda çalışanların ve müşterilerin memnuniyetini sağlamak için de kullanma isteğini yansıtır. Firmalar, çalışanlarının teknolojik yeniliklere açık olduğunu ve bu yenilikleri benimsemeye hazır olduklarını ifade etmişlerdir. Bu da değişen iş ortamında firmaların daha esnek ve rekabetçi olmasını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, Lojistik 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanması, firmaların teknolojik değişikliklere uyum sağlamasını, operasyonel süreçleri optimize etmesini ve iş gücünün daha yüksek katma değerli işlere odaklanmasını sağlayabilir. Ancak, bu süreçte iş gücü ve toplumsal etkilere dair endişelerin ele alınması ve buna bağlı önlemlerin alınması da büyük önem taşımaktadır. Firmalar, çalışanlarını dijital dönüşüm sürecine dahil ederek ve onları yeni teknolojilere uyum sağlamaları için gerekli eğitimleri vererek hem kendi rekabet güçlerini artırabilir hem de toplumsal sorumluluklarını yerine getirebilirler.

Sektörlerde yaşanan süreçlerin analiz sonucunda; Lojistik 4.0 uygulamalarının tüm sektörler için geçerli olabilecek güçlü ve zayıf yönleri ile oluşan fırsat ve tehditleri çıkarılmıştır. Tablo 3.1'de paylaşılan bu bilgiler doğrultusunda işletmelerin Lojistik 4.0 teknolojilerini dikkatli bir şekilde benimsemeleri ve stratejik bir yaklaşımla yönetmeleri önemlidir. Bu, potansiyel faydaları maksimize etmek ve riskleri minimize etmek için gereklidir.

**Tablo 3.1.** Lojistik 4.0 Uygulamaları Fırsat ve Tehditleri ile Güçlü ve Zayıf Yönleri

| ENDÜSTRİ 4.0'IN LOJİSTİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE AİT SWOT ANALİZİ                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GÜÇLÜ YÖNLER                                                                                                                                                                                                                    | ZAYIF YÖNLER                                                                                                                                                                                                                                                                                        | FIRSATLAR                                                                                                                                                                                                                                                                       | TEHDİTLER                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Verimlilik Artışı;</b><br>Akıllı depo yönetimi, yapay zekâ destekli planlama gibi teknolojiler, lojistiğin süreçlerindeki verimliliğini artırabilir.                                                                         | <b>Yatırım Gereksinimi</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için önemli yatırımlar gerekebilir, bu durumda maliyetli olabilir                                                                                                                                                           | <b>Yeni Pazarlar ve Hizmetler</b><br>Endüstri 4.0 teknolojileri, yeni pazarlar ve hizmetlerin keşfedilmesine olanak tanır.                                                                                                                                                      | <b>Teknoloji Hızı</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerindeki hızlı değişim bazı işletmeler için teknolojiyi takip etmeyi zorlaştırabilir ve durum maliyetlerin daha da yükselmesine olanak sağlayabilir.                                                                                               |
| <b>Maliyet Azaltımı</b><br>Otonom araçlar ve dronlarla teslimat süreçleri en iyi şekilde kullanarak maliyetleri düşürülebilir.                                                                                                  | <b>Yatırım Riskleri</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerine yapılan yatırımların geri dönüş süresi belirsiz olabilir bundan dolayı işletmeler için ekonomik riskler oluşturabilir.                                                                                                                      | <b>Rekabet Avantajı</b><br>Endüstri 4.0'ı başarıyla uygulayan işletmeler, rekabet avantajı elde edebilir ve pazarda öne çıkabilir.                                                                                                                                              | <b>Regülasyon ve Yasal Engeller</b><br>Veri güvenliği ve gizliliği gibi konularda artan regülasyonlar, işletmelerin faaliyetlerini kısıtlayabilir.                                                                                                                                                 |
| <b>Müşteri Memnuniyeti</b><br>Gerçek zamanlı izleme ve bildirimlerle müşteriye daha sunarak müşteri memnuniyeti artırılabilir.                                                                                                  | <b>Veri Güvenliği Endişeleri</b><br>Büyük miktarda verinin toplanması ve işlenmesi, veri güvenliği ve gizliliği endişelerini artırabilir.                                                                                                                                                           | <b>Tedarik Zinciri İyileştirmeleri</b><br>Tedarik zinciri yönetimi ve blok zinciri teknolojisi ile lojistik süreçlerde önemli iyileştirmelere olanak sağlanabilir.                                                                                                              | <b>Teknolojik Bağımlılık</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerinin yaygın kullanılması, firmaların teknolojiye bağımlılığını artırabilir ve bu durum teknoloji arızaları veya kesintileri durumunda operasyonların aksamasına yol açabilir.                                                             |
| <b>İş Gücü Verimliliği</b><br>Depo operasyonlarını optimize ederek iş gücü verimliliğini artırır örneğin, otomatik raf sistemleri, ürünlerin hızlı bir şekilde bulunmasını ve sevk işlerinin hızlandırarak iş zamanını azaltır. | <b>Uyum Zorlukları</b><br>Bazı lojistik işletmeleri, mevcut iş süreçlerinden yeni teknolojilere geçiş sürecinde uyum sağlamak konusunda zorluklar yaşayabilir. Örneğin, manuel envanter yönetimi alışkanlıklarını otomatik sistemlere geçiş, bazı çalışanlar ve işletmeler için zorlayıcı olabilir. | <b>Gelişmiş Müşteri Deneyimi</b><br>Endüstri 4.0 teknolojileri, müşterilere daha iyi bir deneyim sunma fırsatı sağlar. Örneğin, IoT cihazlarıyla, müşteriler ürünlerinin sevkiyatını gerçek zamanlı olarak takip edebilir ve tahmini teslimat süreleri hakkında bilgi alabilir. | <b>Rekabet ve Fiyat Baskısı</b><br>Endüstri 4.0'ın yaygınlaşmasıyla birlikte rekabet artar. Bu durum, maliyetlerin düşmesine ve kar marjlarının azalmasına neden olabilir. Ayrıca, büyük teknoloji şirketlerinin lojistik sektörüne girmesiyle yerel işletmeler için rekabet daha da zorlaşabilir. |

**Tablo 3.1 (devamı).** Lojistik 4.0 Uygulamaları Fırsat ve Tehditleri ile Güçlü ve Zayıf Yönleri

| ENDÜSTRİ 4.0'IN LOJİSTİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE AİT SWOT ANALİZİ                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GÜÇLÜ YÖNLER                                                                                                                                                                                                                                                          | ZAYIF YÖNLER                                                                                                                                                                                                                           | FIRSATLAR                                                                                                                                                                                                                                                                          | TEHDİTLER                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Gerçek Zamanlı Takip</b><br>IoT cihazları, taşıma araçlarının konumunu ve durumunu gerçek zamanlı olarak izlemeyi mümkün kılar. Bu sayede, lojistik operasyonların daha iyi planlanması ve müşterilere daha doğru tahminler verilmesi sağlanır.                    | <b>İnsan Kaynakları Yetkinliği</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerini etkin bir şekilde kullanabilmek için yetenekli ve eğitilmiş personel gereklidir ama bu tür uzmanların bulunması ve eğitilmesi zor olabilir.                         | <b>Karbon Ayak İzi Azaltma</b><br>Akıllı taşıma yönetimi ve optimize edilmiş rotalar, lojistik operasyonların çevresel etkisini azaltabilir ve sürdürülebilirlik odaklı müşterilerin ilgisini çekebilir                                                                            | <b>İstihdam Kaybı Endişesi</b><br>Otomasyon ve robotik sistemlerin kullanımıyla birlikte, bazı işlerin otomatikleştirilmesi sonucunda iş gücü kaybı endişesi artabilir. Bu durum, toplumda endişe ve direnişe neden olabilir ve sosyal ve ekonomik etkilere yol açabilir. |
| <b>Büyük Veri ve Analitik</b><br>Lojistik sektörü, büyük veri analitiği sayesinde talep tahmini, envanter yönetimi ve lojistik operasyonların optimize edilmesi gibi alanlarda önemli avantajlar elde eder. Bu, maliyetleri düşürür ve müşteri memnuniyetini artırır. | <b>Güvenlik Endişeleri</b><br>Dijitalleşme ve bağlantılı cihazların kullanımıyla birlikte, veri güvenliği endişeleri artmaktadır. Siber saldırılar ve veri ihlalleri, lojistik operasyonlarını ciddi şekilde kötü yönde etkileyebilir. | <b>Veri Tabanlı Karar Alma</b><br>Büyük veri analitiği ve yapay zekâ kullanımı, lojistik işletmelerinin veri tabanlı kararlar almasını sağlar. Doğru veri analizi, stratejik kararların daha iyi bir şekilde desteklenmesine ve rekabet avantajının elde edilmesine yardımcı olur. | <b>Yatırım Riskleri</b><br>Endüstri 4.0 teknolojilerine yapılan yatırımların geri dönüşü belirsiz olabilir ve işletmeler için finansal riskler oluşturabilir.                                                                                                             |
| <b>Akıllı Depolama</b><br>RFID etiketleri ve sensörlerle donatılmış akıllı raflar, envanter yönetimini kolaylaştırır ve kayıp/çalıntı gibi ürünleri tespit etmede destek olur.                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Pazarlama ve Marka İmajı</b><br>Müşterilere daha hızlı, daha doğru ve daha esnek hizmetler sunmak, lojistik şirketlerinin marka imajını güçlendirir ve rekabet avantajı sağlar.                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Yukarıda bulunan tabloda Endüstri 4.0'ın lojistik sektöründe yarattığı etkileri SWOT analizi tekniği ile değerlendirilmiş olup, Endüstri 4.0, dijitalleşme, otomasyon, yapay zekâ ve IoT (Nesnelerin İnterneti) gibi gelişmiş teknolojilerle iş süreçlerini yeniden şekillendiğini ve bu dönüşümün lojistik üzerinde hem olumlu hem de olumsuz birçok etkisi bulunduğunu bizlere anlatmaktadır, yukarıdaki SWOT analizi tablosuna istinaden;

*Güçlü Yönler:* Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki en önemli faydalarından biri, verimlilikteki belirgin artıştır. Akıllı depo yönetim sistemleri ve yapay zekâ destekli planlama gibi yenilikler, lojistik süreçlerinin hızını ve etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu yenilikler sayesinde operasyonel maliyetler azaltılmakta ve kaynaklar daha verimli kullanılmaktadır. Ayrıca, otomatik raf sistemleri ve otonom taşıma araçları gibi gelişmiş teknolojiler, iş gücünün verimliliğini yükselterek süreçlerin daha hızlı ve daha az hatayla yürütülmesini sağlamaktadır. Bu iyileştirmeler, müşteri memnuniyetini de olumlu yönde etkilemektedir. Gerçek zamanlı izleme ve bildirim sistemleri, müşterilere daha iyi bir hizmet sunarak deneyimlerini geliştirmektedir.

*Zayıf Yönler:* Endüstri 4.0'ın sunduğu yenilikler, önemli düzeyde yatırım gerektirmektedir. Yeni teknolojilerin entegrasyonu, genellikle yüksek maliyetler ve finansal riskler beraberinde getirir. Bu durum, özellikle orta ve küçük ölçekli işletmeler için ciddi bir ekonomik yük oluşturabilir. Teknolojinin hızla değişmesi, işletmelerin bu yeniliklere uyum sağlamasını zorlaştırabilir ve teknolojiye bağımlılıklarının artmasına neden olabilir. Bu bağımlılık, teknoloji arızaları veya kesintileri yaşandığında operasyonların aksamasına yol açabilir. Ayrıca, yeni sistemlere geçiş sürecinde uyum sağlama zorlukları ortaya çıkabilir ve mevcut iş süreçlerinin değişmesi gerektiğinde bazı işletmeler bu değişimlerle başa çıkmakta güçlük çekebilir.

*Fırsatlar:* Endüstri 4.0, lojistik sektörüne yeni fırsatlar sunarak pazarda farklılaşma şansı tanıyor. Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanımı, lojistik firmalarına yeni müşteri gruplarına erişim sağlama ve sundukları hizmetleri çeşitlendirme imkânı tanıyor. Tedarik zinciri yönetiminde ve blok zinciri teknolojilerinde sağlanan ilerlemeler, lojistik süreçlerde önemli gelişmelere yol açabilir. Bu durum, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerini ve pazarda öne çıkmalarını destekleyebilir. Ayrıca, akıllı taşıma yönetim sistemleri ve optimize edilmiş güzergahlar, çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilirlik odaklı müşteriler için cazip hale gelebilir.

*Tehditler:* Endüstri 4.0'ın hızla yayılması, sektördeki rekabeti artırarak fiyatlar üzerinde baskı yaratabilir. Büyük teknoloji şirketlerinin lojistik alanına adım atması, yerel işletmelerin rekabet avantajını zorlaştırabilir ve bu da kar marjlarının düşmesine ve maliyetlerin azalmasına neden olabilir. Ayrıca, veri gizliliği ve güvenliği ile ilgili artan düzenlemeler, işletmelerin operasyonlarını

sınırlayabilir. Siber saldırılar ve veri ihlalleri, lojistik süreçlerinde ciddi aksamalara yol açabilir. Otomasyon ve robotik teknolojilerin yaygınlaşması, iş gücü kaybı korkularını artırabilir, bu durum çalışan topluma endişeye sebep verebilir.

Genel olarak, Endüstri 4.0, lojistik sektöründe önemli değişikliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu teknolojilerin sunduğu fırsatların ve avantajların yanı sıra, beraberinde getirdiği zorluklar ve tehditler de dikkate alınmalıdır. İşletmelerin bu dönüşüm sürecinde başarılı olabilmeleri için etkili stratejiler geliştirmeleri ve teknolojiye uyum sağlamaları gereklidir. Bu durum, uzun vadeli ve sürdürülebilir büyüme sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Lojistik sektörü ve Lojistik 4.0 uygulamalarına dair gerçekleştirdiğimiz swot analizine ait öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

*Teknoloji Yatırımları:* İşletmeler, Lojistik 4.0'ın faydalarından yararlanmak için uygun teknoloji yatırımları yapmalıdır. Otomasyon sistemleri, IoT cihazları, yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler, lojistik operasyonlarında önemli bir rol oynar.

*Personel Yetkinliği ve Eğitimi:* Dijitalleşme sürecinde işgücünün yetkinliği ve adaptasyonu kritik öneme sahiptir. İşletmeler, çalışanlarına Lojistik 4.0 teknolojilerini kullanma ve yönetme konusunda eğitim ve destek sağlamalıdır.

*İş birliği ve Entegrasyon:* Lojistik 4.0, tedarik zinciri boyunca iş birliği ve entegrasyonu teşvik eder. Tedarik zinciri paydaşları arasında daha iyi veri paylaşımı ve iletişim, operasyonların daha verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesine yardımcı olur.

*Güvenlik ve Veri Gizliliği:* Lojistik operasyonlarında dijitalleşme, güvenlik ve veri gizliliği risklerini de beraberinde getirebilir. İşletmeler, bu konulara özel dikkat göstermeli ve uygun güvenlik önlemlerini almalıdır.

Lojistik 4.0, işletmeler için büyük fırsatlar sunarken, başarılı bir şekilde uygulanması belirli stratejilerin ve dikkatli planlamanın gerektiğini gösterir. Bu öneriler, işletmelerin Lojistik 4.0'ı etkili bir şekilde benimsemelerine ve operasyonlarını optimize etmelerine yardımcı olabilir.

Literatürde yapılan diğer SWOT analizi çalışmaları, Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki etkilerini değerlendirmiş olup bu çalışmalar, Endüstri 4.0'ın sunduğu yeniliklerin lojistik yönetiminde önemli avantajlar sağladığını ancak aynı zamanda bazı dezavantajları da beraberinde getirdiğini göstermektedir.

Endüstri 4.0'ın lojistik yönetimi açısından sunduğu avantajlar arasında en

belirgin olanı, süreç ve performans yönetimindeki etkinlik artışıdır. Bu teknolojik devrim, akıllı sistemler ve otomasyon aracılığıyla operasyonel süreçleri optimize ederek verimliliği artırır. Örneğin, sensörler ve IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazları, lojistik operasyonlarda gerçek zamanlı veri toplama ve analiz etme olanağı sunarak daha hızlı ve doğru kararlar alınmasını sağlar. Bu da işletmelerin maliyetlerini azaltmalarına ve hizmet kalitelerini yükseltmelerine imkân tanır. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları, tedarik zincirinin daha esnek ve uyarlanabilir hale gelmesine yardımcı olur ancak, Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki etkileri yalnızca olumlu yönleriyle sınırlı değildir. Literatürde, bu teknolojinin iş gücü ihtiyacını azaltacağına dair önyargılar ve istihdam üzerinde yaratabileceği olumsuz etkiler sıkça tartışılmaktadır. Otomasyon ve robotik sistemlerin yaygınlaşması, bazı iş pozisyonlarının ortadan kalkmasına veya dönüşmesine neden olabilir. Bu durum, işsizlik oranlarının artmasına neden olabilir ve mevcut iş gücünün yeniden eğitilmesi ihtiyacını doğurabilir. Ayrıca, bu değişimlerin iş gücü piyasasında yaratacağı sosyal ve ekonomik etkiler, dikkatle ele alınması gereken konular arasında yer alır.

Müşteri ilişkileri yönetimi perspektifinden bakıldığında, Endüstri 4.0'ın müşteri ilişkilerini güçlendirdiği ve hizmet kalitesini artırdığı görülmektedir. Teknolojinin sağladığı hızlı bilgi aktarımı ve veri analitiği, müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilmesine olanak tanır. Ancak, sektörler arası entegrasyon farklılıkları, bu avantajların tam anlamıyla gerçekleştirilememesine sebep olabilir. Özellikle, farklı teknolojik altyapılara sahip sektörler arasında entegrasyon zorlukları yaşanabilir ve bu da süreçlerin etkinliğini sınırlayabilir. Bu nedenle, başarılı bir entegrasyon süreci için sektörel olarak uyum ve iş birliği önemli bir rol oynamaktadır.

Endüstri 4.0'ın bilgi paylaşımı ve iletişim üzerindeki etkileri de önemli bir araştırma konusudur. Gerçek zamanlı veri toplama ve hızlı bilgi aktarımı, lojistik sektöründe operasyonel etkinliği artırmaktadır ancak bu teknolojik ilerlemeler bilgi güvenliği ve doğrulama konusunda yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Özellikle siber güvenlik tehditleri ve veri ihlalleri, lojistik şirketleri için ciddi ve önemli riskler oluşturabilir. Bu nedenle, etkili veri güvenliği protokollerinin geliştirilmesi ve uygulanması kritik bir önem taşır.

Sonuç olarak literatürde yapılan diğer SWOT analizi araştırmaları, Endüstri 4.0'ın lojistik uygulamaları üzerindeki etkisini değerlendirerek benzer sonuçlara

ulaşılmıştır. Bu bulgular, dahilinde literatür ile uyumlu sonuçlar bulunmuş olup yapılan literatür araştırmasıyla tutarlıdır ve Endüstri 4.0'ın lojistik alanında uygulanabilirliğini ve getirdiğı potansiyel zorlukları anlamak için önemli bir çerçeve sunmaktadır. (Ernur & Yüksel, 2022; Karagöz & Doyduk, 2020; Sürmen, 2019; Sürmen & Güler, 2021)



## SONUÇ

Endüstri 4.0 ve lojistik 4.0, işletmelerin ve endüstrilerin dijital dönüşümünü ifade eden önemli kavramlardır. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin ve otomasyonun kullanımını vurgular. Bu, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (AI), büyük veri analitiği, bulut bilişim ve diğer gelişmiş teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesini içerir. Endüstri 4.0'ın temel amacı, üretkenliği artırmak, maliyetleri düşürmek, ürün kalitesini iyileştirmek ve daha esnek üretim süreçleri sağlamaktır.

Lojistik 4.0 ise, tedarik zinciri yönetiminde Endüstri 4.0 prensiplerinin uygulanmasıdır. Lojistik 4.0, tedarik zincirinin her aşamasında dijital teknolojilerin kullanılmasını içerir. Bu, talep tahmini için yapay zekâ, envanter yönetimi için sensörler ve IoT cihazları, teslimat ve dağıtım için otonom araçlar gibi çeşitli teknolojilerin kullanımını içerir. Bu şekilde, lojistik süreçler daha verimli hale gelir, stok yönetimi iyileştirilir ve müşteri memnuniyeti artar.

Dördüncü Sanayi Devrimi veya Endüstri 4.0, lojistik sektörü de dahil olmak üzere çeşitli sektörleri dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, akıllı ulaşım sistemlerini kurumsal kaynak planlaması, depo yönetimi, nakliye yönetim sistemleri, tedarik zinciri ve lojistik süreçlerine entegre eden dijitalleştirilmiş süreçleri içeriyor. Söz konusu teknoloji sürdürülebilirliği, verimliliği ve temel iş süreçlerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada, Lojistik 4.0'ın tarihsel gelişimi, çeşitli sektörler üzerindeki etkisi ve Türkiye'deki ve dünyadaki uygulamalarına odaklanılarak gelişimi ve mevcut durumu analiz edilmektedir. Ayrıca, çeşitli sektörlerdeki lojistik yöneticileriyle yapılan görüşmelere dayanarak Lojistik 4.0 uygulamalarının fırsatlarını, tehditlerini, güçlü ve zayıf yönlerini tartışmaktadır.

Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0, birlikte çalışarak üretimden tedarik zinciri yönetimine kadar olan süreçlerde dijitalleşme ve otomasyonu sağlayarak işletmelerin rekabetçiliğini artırmaya yardımcı olur. Endüstri 4.0, lojistik sektöründe daha verimli, esnek ve müşteri odaklı operasyonların oluşturulmasını sağlayarak sektöre büyük faydalar sağlar. Bu teknolojilerin kullanımıyla lojistik işletmeleri, rekabet avantajı elde edebilir ve daha sürdürülebilir bir operasyonel model geliştirebilirler.

Lojistik sektörü, akıllı depo yönetimi ve yapay zekâ destekli planlama ile artan verimlilik, otonom araçlar ve dronlarla maliyet azaltımı, gerçek zamanlı izleme ile müşteri memnuniyetinde artış, otomatik raf sistemleri ile iş gücü verimliliğinde artış, IoT cihazları ile taşıma araçlarının gerçek zamanlı takibi, büyük veri analitiği ile talep tahmini, envanter yönetimi ve operasyonların optimize edilmesi gibi birçok avantaj sunduğu yapılan SWOT analizinde ortaya çıkmıştır. Ayrıca, RFID etiketleri ve sensörlerle donatılmış akıllı depolama sistemleri de envanter yönetimine yardımcı olmaktadır. Bu avantajlara karşı olarak lojistik sektörünün, önemli yatırım gereksinimleri, belirsiz geri dönüş süreleri, veri güvenliği endişeleri, uyum zorlukları, insan kaynakları yeterliliği ve güvenlik endişeleri gibi birçok zayıf yönle de karşı karşıya olduğu gözlemlenmiştir. Bu güçlüklerin temelinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasının önemli yatırımları gerektirmesi ve bu yatırımların da yüksek maliyetlere yol açabilmesi yer almaktadır. Büyük veri hacimlerinden kaynaklanan veri güvenliği ve gizlilik endişeleri de mevcutken, yeni teknolojilere uyum zorlukları yetkin personel gereksiniminden kaynaklanmaktadır.

Buna karşın Endüstri 4.0 teknolojileri, lojistik sektöründe birçok fırsat sunmaktadır, bunlar arasında yeni pazarlar ve hizmetlerin keşfedilmesi, rekabet avantajı elde etme, blok zinciri teknolojisi aracılığıyla tedarik zinciri süreçlerinin iyileştirilmesi, IoT cihazlarıyla müşteri deneyiminin artırılması, akıllı taşıma yönetimi ile karbon ayak izinin azaltılması ve veri tabanlı karar alma için büyük veri analitiği ve yapay zekâ kullanımı yer alır. Bu teknolojiler aynı zamanda lojistik şirketlerinin marka imajını güçlendirerek, daha hızlı, daha doğru ve daha esnek hizmetler sunarak rekabet avantajı sağlar. Ayrıca yapılan analiz ortaya çıkarmıştır ki lojistik sektörü, Endüstri 4.0 teknolojilerindeki hızlı değişimler, artan düzenlemeler, artan teknolojik bağımlılık, yoğunlaşan rekabet, iş kaybı endişeleri ve yatırım riskleri gibi tehditlerle karşı karşıyadır. Teknoloji hızı işletmeleri maliyet artışına neden olabilir ve işlerini engelleyebilirken, artan düzenlemeler işletmelerin faaliyetlerini kısıtlayabilir. Endüstri 4.0'ın yaygın kullanımı ayrıca teknolojiye bağımlılığı artırabilir ve potansiyel kesintilere yol açabilir. Rekabet artabilir, bu da maliyetlerin düşmesine ve kar marjlarının azalmasına neden olabilir. Ek olarak, iş kaybı endişeleri ve toplumsal etkilerle ilgili endişeler ortaya çıkabilir.

Lojistik 4.0 için; teknoloji yatırımları, personel yetkinliği ve eğitimi, iş birliği ve entegrasyon, güvenlik ve veri gizliliği gibi noktalara dikkat edildiğinde

çok daha verimli bir operasyon modeli geliştirilmiş olacaktır. Nesnelerin İnterneti ve yapay zekâ gibi ileri teknolojilerin uygulanmasıyla, firmalar süreçleri optimize edebilir bu sayede lojistik endüstrisinde maliyet tasarrufu, artan verimlilik ve gelişmiş müşteri memnuniyetine ulaşılabilir.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0, lojistik sektöründe köklü değişiklikler yaparak operasyonel süreçleri yeniden şekillendirmekte ve işletmelere büyük fırsatlar sunmaktadır. Yapay zekâ, otomasyon ve IoT gibi teknolojiler, operasyonel maliyetleri düşürüp hizmet kalitesini artırarak rekabet avantajı sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın lojistik sektörü üzerindeki etkileri, güçlü yönleri ve sunduğu fırsatlarla birlikte, dikkat edilmesi gereken zayıf yönler ve tehditler de içermektedir. İşletmelerin bu dönüşüm sürecinde başarılı olabilmeleri için stratejik planlama yapmaları ve teknolojiye uyum sağlamaları gerekmektedir. Teknoloji yatırımları, personel eğitimi, iş birliği ve güvenlik önlemleri gibi stratejiler, işletmelerin Lojistik 4.0'ı etkili bir şekilde benimsemelerine ve operasyonlarını optimize etmelerine yardımcı olacaktır.

## KAYNAKÇA

(Bu tez çalışmasında APA 6 atıf sistemi kullanılmıştır.)

- Ak, A.E., Kağncıoğlu, C.H (2021). *Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Gelişen Lojistik 4.0: Sistematik Bir Literatür İncelemesi*, Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Geliştirilen Lojistik 4.0: Sistematik Bir Literatür Taraması, Erişim Adresi: <https://l24.im/acL8Tt>
- Akbaba, A.İ. ve Akbulut, E. (2021). *3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları*. 19–46.
- Arslan, A. (2020). *Dördüncü Sanayi Devriminin (Endüstri 4.0) Emek Piyasaları Üzerindeki Etkileri*, Erişim Adresi: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/ET001915.pdf>
- Aylak, B. L., Kayıkcı, Y. ve Taş, M. A. (2020). Türkiye’de lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin dijital trendlerinin incelenmesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(57), 98-116. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jyasar/issue/52468/569599>
- Bağcı, E. (2018). *Endüstri 4.0: Yeni Üretim Tarzını Anlamak*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/564552>
- Bakkal, M., Demir, U. (2011). *Lojistik Yönetimi ve E- Lojistik*. Hiperlink Yayınları
- Barut, B., Ünver, M., Kayım, C. T., Toprak, E. ve Uysal, E. (2020). *Otomotiv Endüstrisinde Akıllı Fabrika Uygulamaları ve Türkiye’de Adaptasyon Süreci*. 28–38. Erişim Adresi: <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/LOJ206U/ebook/LOJ206U-16V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf>
- Baylan, O. (2019). *Endüstriyel Robotların Avantajları*. Erişim Adresi: <https://www.metaluzmani.com/endustriyel-robotlarin-avantajlari/>
- Bingöl, B. (2018). *Yeni Bir Yaşam Biçimi: Artırılmış Gerçeklik (AG)*. Erişim Adresi: <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/LOJ206U/ebook/LOJ206U-16V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf>
- Canitez, S. (2023). *Endüstri 4.0 Teknolojilerinin İşletme Performansına Etkileri: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama*, Erişim Adresi: <https://l24.im/WVY3DO>
- Çelen, S. (2017). *Sanayi 4.0 ve Simülasyon*. 9–26. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/400791>
- Çetinkaya, G. (2020). *Dördüncü Sanayi Devriminin Kamu Harcamaları Üzerine Etkisi*. Erişim Adresi: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/ET001974.pdf>
- Davutoğlu, N.A. (2018). *Üçüncü ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel ve Sistematik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1110924>
- Delibalta, M.S. (2020). Lojistik yönetiminin madencilik sektörü iş sağlığı ve güvenliği üzerine etkileri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 480-487. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/950254>
- Demir, F.O., Kırdar, Y. (2009), “Müşteri İlişkileri Yönetimi: CRM”, *The Review of Social, Economic and Business Studies*
- Demiral, D. (2021). *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, 231-251. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ibad/article/838751>
- Dinç, Y. (2019). *Lojistik Sektöründe Büyük Veri Kullanımı Mersin İli Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Mersin: Tarsus Üniversitesi. Erişim Adresi: <https://l24.im/vGA8j>

- Dinçel, S. (2016). *Lojistik Yönetimi ve Girişimcilik*. Hiperlink Yayınları.
- Dinç, Y. ve Korkmaz, O. (2021). Büyük verinin lojistik sektöründe kullanımı: mersin ili örneği. *Verimlilik dergisi*, 4, 67-88. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/verimlilik/article/825813>
- Doğan, M. (2022). *Yiyecek ve İçecek Sektöründe Endüstri 4.0 ve Robotik Sistemler*, Erişim Adresi: <https://124.im/4oWxD>
- Eğilmez, M. (2018). *Endüstri 4.0.*, Erişim Adresi: <https://www.mahfiegilmez.com/2017/05/endustri-40.html>
- Eldem, M.O. (2017). *Endüstri 4.0*. Erişim Adresi: <https://124.im/meNb>
- Ernur, O. ve Yüksel, H. (2022). Assessing Industry 4.0 Transformation of SMEs: A Swot Analysis. *İzmir Yönetim Dergisi*, 3(1), 23-35. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2416244>
- Gedik, Y. (2021). *Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve*, Erişim Adresi: <https://124.im/FNM97g5>
- Genç, E., Tunali, İ. (2022), Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 Kapsamında Akıllı Depo Sistemleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 194-215. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2624477>
- Gerçel, H.F. (2017). *Endüstri 4.0 ve Tarihsel Gelişimi*. Erişim Adresi: <https://124.im/HkMDsE>
- Göpfert, Ingrid (ed.) (2016). *Logistik der Zukunft-Logistics For The Future*. SpringerVerlag,
- Görçün, Ö. (2013). *Depo ve Envanter Yönetimi*. BETA Yayınevi
- Görçün, Ö.F. (2018), *Lojistik Maliyetler Çerçevesinde Karadeniz Limanlarının Multimodal Taşımacılığa Uygunluklarının Analizi*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ulikidince/issue/35566/378627>
- Gündüz, M.Z. ve Daş. R. (2017). *Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/465809>
- Güvenol, B., Gündüz, Z. ve Güler, M.E. (2021). *Endüstriyel Devrimler ve Toplumsal Gelişmelerin Işığında Turizm*. 204–227. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2041578>
- Güzeliş, H. (2018). *Dünden Bugüne Robotlar #3: Seri Üretim, Elektrik ve Endüstri 2.0*.
- Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technological forecasting and social change*, 162, 120343.. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343>
- İlhan, İ. (2019). *Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/900582>
- İlhan, R. (2020). *Endüstri 4.0 Teknolojileri (Bileşenleri)*. Erişim Adresi: <https://www.otonomfabrika.com/endustri-4-0-teknolojileri-bilesenleri/>
- İşler, H. (2020). *4. Sanayi Devriminin (Endüstri 4.0) Dinamikleri ve Olası Sonuçları*. Erişim Adresi: <https://124.im/UMuxz>
- Jahn, C., Kersten, W.C.R. (2018). Logistics 4.0 and Sustainable Supply Chain Management: Innovative Solutions for Logistics and Sustainable Supply Chain Management In *The Context Of Industry 4.0*. Erişim Adresi: <https://124.im/4Xwor>
- Kamber, E. (2019). *Türkiye’de Endüstri 4.0 Farkındalığı*.
- Kamber, E. ve Sönmeztürk, G.İ., Bolatan (2019). *Endüstri 4.0 Türkiye Farkındalığı*. 836–847.

- Karagöz, B. ve Doyduk, H.B.B. (2020). Lojistik 4.0 uygulamaları ve lojistik firmalarının bakış açısı. *İnsan ve İnsan*, 7(23), 37-51. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/946371>
- Kayapınar, S. (2017). *Endüstri 4.0'ın Dünyü, Bugünü ve Yarını: Lojistik Sektörü*. Erişim adresi: <https://124.im/SAPVQ8>
- Keskin, M. (2015). *Lojistik El Kitabı- Kavramlar Prensipler Uygulamalar*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Koçak, R. (2020). Lojistiğin Tarihsel Gelişimi: Askeri Gereksinimden İşletme Lojistiğine ve Tedarik Zinciri Yönetimine Evrilme Süreci. *Journal of Yasar University*, 246-258. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jyasari/issue/54255/647095>
- Kutlu, H. (2022). *Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP)* Erişim Adresi: <https://lojistikbilimi.com/kurumsal-kaynak-planlamasi/>
- Kutlu, H. (2023). *Lojistik 4.0 Kavramı ve Lojistik Bilgi Teknolojileri*. *Lojistik Bilimi: Erişim Adresi: https://lojistikbilimi.com/lojistik-4-0-kavrami-ve-lojistik-bilgi-teknolojileri/*
- Medya, c. (2024, Nisan 16). Lojistikte siber güvenlik planı oluşturma – İŞTE TEKNOLOJİ. Erişim Adresi: <https://isteteknoloji.com.tr/makale/2023/04/11/lojistikte-siber-guvenlik-plani-olusturma/>
- Nobrega, J.H.C., Rampasso, I.S., Sanchez-Rodrigues, V., Quelhas, O.L.G., Leal Filho, W., Serafim, M.P. ve Anholon, R. (2021). Logistics 4.0 in brazil: Critical analysis and relationships with sdg 9 targets. *Sustainability*, 13(23), 13012.
- Özdemir, A. ve Özgüner, M. (2018). *Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0*, Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/842544>
- Özdemir, F.S. ve Beyazıt, E. (2012). *Nesneleri Radyo Frekansları ile Tanımlama (Rfid) Sistemi ve Muhasebe Bilgi Sistemine Sağladığı Katkıları*, Erişim Adresi: <https://124.im/oruywe>
- Öztemel, E. ve Gürsev, S. (2018), Türkiye’de Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Etkileri ve Yatırım İmkanlarına Bakış Üzerine Anket Uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 145-154. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/498845>
- Öztürk, S. ve Alaşahan, Y. (2019). *Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Panel Veri Analizi*, Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/760562>
- Puyt, R.W., Lie, F.B. ve Wilderom, C.P. (2023). The origins of SWOT analysis. *Long Range Planning*, 56(3), 102304.
- Saatçioğlu, Ö.Y. (2019), *Bilişim Sistemleri ve Lojistik* Erişim Adresi: <https://124.im/81ih>
- Saatçioğlu, Ö.Y., Gök, G.T. ve Özispa, N. (2018). *Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Yansımalarının Örnek Olay Kapsamında Değerlendirilmesi*. 1675–1696. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1037112>
- Salgar, U. (2018). *Sanayi 4.0 Kapsamında Türkiye’nin Rekabet Gücünün Değerlendirilmesi*. Erişim Adresi: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/58222.pdf>
- Sayar, M. ve H. Yüksel. (2018), *Endüstri 4.0 ve Türkiye Kamu Sektöründe Endüstri 4.0 Dönüşümü*. Erişim Adresi: <https://124.im/6kGR>
- SBB. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı 2024-2028*. Türkiye Cumhuriyeti Sosyal Yardımlaşma ve Dayanışma Vakfı. Erişim tarihi: 30 Haziran 2024, Erişim Adresi: [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani\\_2024-2028\\_11122023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf)
- Serinlikli, N. (2018). *Endüstri 4.0’ın Özel, Kamu ve Kooperatif Sektörlerine Etkisi*. 1607–1621. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1037062>

- Sert, D. Hitit, Z.Y ve Ertunç, S. (2019). *Endüstri 4.0 Uygulamaları Mevcut Durumu ve Kimya Mühendisliğindeki Yeri*. Erişim Adresi: <https://l24.im/qDmO>
- Seyhan, Ç. (2019). *Lojistik 4.0: Endüstri 4.0'ın Lojistik Sektörüne Uyarlanması Üzerine Bir Araştırma*. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Erişim Adresi: <https://l24.im/TUwq>
- Seyrek, İ.H. (2011). *Bulut Bilişim: İşletmeler için Fırsatlar ve Zorluklar*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/223390>
- Sezer, A., Sargın, A. ve Demiray, R.T. (2021). *Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı*. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Erişim Adresi: [https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina\\_d106e.pdf](https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina_d106e.pdf)
- Sezgin, C. (2021). *Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Depo Yönetimi ve Lojistik: Lojistik 4.0'ın İstanbul Bölgesinde Uygulanma Seviyesi Üzerine Bir Araştırma*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Beykoz Üniversitesi.
- Sürmen, Y.E. (2019). *Endüstri 4.0 ve otomotiv endüstrisi: Bursa ili SWOT analizi ile değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Bursa: Uludağ Üniversitesi. Erişim Adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/5f7b45ff-d384-43f1-8dd0-74a7b14d3677/content>
- Sürmen, Y.E. ve Güler, E. (2021). Endüstri 4.0 ve Bursa Otomotiv Sanayi: SWOT (GZFT) Analizi ile Bir Değerlendirme. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27, 328-347. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1611276>
- Szum, K. ve Nazarko, J. (2020). Exploring the determinants of Industry 4.0 development using an extended SWOT analysis: A regional study. *Energies*, 13(22), 5972.
- Şekkeli, Z.H., Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 17-36. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/476720>
- Şekkeli, Z.H., Bakan, İ. (2018), Akıllı Fabrikalar. *Journal of Life Economics*, 203-220. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/658649>
- Tanyaş, M. ve Düzgün, M. (2014). *Depo Yönetimi: Depo Sistemlerinin Otomasyonu ve Organizasyonu*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Teknoloji, İ. (2023). *Lojistikte Siber Güvenlik Planı Oluşturma. İşte Teknoloji*. Erişim Adresi: <https://isteteknoloji.com.tr/makale/2023/04/11/lojistikte-siber-guvenlik-plani-olusturma/>
- Tonga, M.Y ve Tonga, M. (2022). *Endüstri 4.0'a Genel Bir Bakış: Sanayinin Geleceği*. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2780224>
- Türkel, S. ve Yeşilkuş, F. (2020). Dijital Dönüşüm Paradigması: Endüstri 4.0. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(7), 2–346. Erişim Adresi: <https://l24.im/MpuBC>
- World Economic Forum. (2024). *The rise of global digital jobs*. Erişim Adresi: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Rise\\_of\\_Global\\_Digital\\_Jobs\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Rise_of_Global_Digital_Jobs_2024.pdf)
- Yazıcı, A. (2016). *Endüstri 4.0 ve Otonom Robotlar*. 39, Erişim Adresi: [https://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e\\_ek.pdf?dergi=10](https://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e_ek.pdf?dergi=10)
- Yıldız, A. (2018). *Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar*. 546–556. Erişim Adresi: <https://l24.im/lqichG8>
- Yılmaz, Ü. ve Kuvat, Ö. (2021). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 746-754. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2010628>
- Yılmaz, Ü. ve Duman, B. (2019). Lojistik 4.0 Kavramına Genel Bir Bakış: Geçmişten Bugüne Gelişim. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 186-200. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/744845>

Yoşumaz, İ. ve Özkara, B. (2019). *Endüstri 4.0 Sürecinin Hazır Giyim İşletmeleri Üzerindeki Etkileri: Hugo Boss Türkiye Örneği*. Erişim Adresi: [https://isarder.org/2019/vol.11\\_issue.4\\_article15\\_full\\_text.pdf](https://isarder.org/2019/vol.11_issue.4_article15_full_text.pdf)

Yüksel, H. (2012). *Bulut Bilişim El Kitabı*. Erişim Adresi: <https://yukselis.wordpress.com/wpcontent/uploads/2012/01/bulutbilic59fimekitabc4b1.pdf>

