



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

**ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE DİJİTALLEŞME İLE İŞLETMELERDE
LOJİSTİK ROBOTLARININ KULLANIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gözde ÇİMEN

Endüstriyel Tasarım Disiplinlerarası Anabilim Dalı

İZMİR
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

**ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE DİJİTALLEŞME İLE İŞLETMELERDE
LOJİSTİK ROBOTLARININ KULLANIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gözde ÇİMEN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ece Nüket ÖNDOĞAN

Endüstriyel Tasarım Disiplinlerarası Anabilim Dalı
Endüstriyel Tasarım Kültürü ve Uygulamaları
Yüksek Lisans Programı

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne sunduğum "ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE DİJİTALLEŞME İLE İŞLETMELERDE LOJİSTİK ROBOTLARININ KULLANIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ" adlı yüksek lisans tezimin tarafımdan bilimsel, etik davranış ve akademik kurallara uygun bir şekilde hazırlandığını ve yazıldığını, tezimde yararlandığım tüm kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu kaynakları metin içerisinde uygun bir şekilde atıflar yaparak gösterdiğimi beyan eder; onurumla doğrularım.

GÖZDE ÇİMEN

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca, her alanda bana hem maddi hem manevi desteklerini esirgemeyen ve yol gösterici olan, her daim yanımda olduklarını hissettiğim sevgili annem Feray ÇİMEN'e ve sevgili babam Tacettin ÇİMEN'e,

Yüksek Lisans'a başladığım ilk günden beri sonsuz desteğini gördüğüm ve akademik yolculuğumda önümü aydınlatan, bilgi ve tecrübeleri ile tezimi yazarken bana rehberlik eden değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ece Nüket ÖNDOĞAN'a yürekten teşekkür ederim.

Gözde ÇİMEN

İzmir, 2023

ÖZET

Geçmişten günümüze kadar süre gelen buluşlar ve teknolojik gelişmeler günümüzde Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Endüstri 4.0'ın getirmiş olduğu teknolojilerin uygulanması işletmeler için küreselleşen pazar ve yoğun rekabet ortamında kaçınılmaz olmuştur. Pazarın beklentisi olan üretim hızı ve artan tedarik ihtiyaçları açısından her geçen gün büyümektedir. Bununla birlikte artık günümüzde işletmelerin geleneksel çözümleri yetersiz kalmıştır. İşletmelerin Endüstri 4.0'ın getirisi olan dijital teknolojilere yatırım yapması günümüz rekabet ortamında kaçınılmaz olmuştur.

Günümüz işletmelerinde üretim ve işletmelerin içerisinde yer alan lojistik faaliyetlerinde hız, hatasız süreçler, şeffaflık ve beraberinde getirdiği takip edilebilirlik zorunlu unsurlar haline gelmiştir. Süreçler içerisindeki şeffaflık süreçlerin takibini kolaylaştırmaktadır. Bunun içinse sistemlerin içerisinde yer alan bütün unsurların birbirleri ile haberleşmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0 içerisindeki teknolojiler bunu mümkün kılmaktadır.

3D baskı, IoT, gelişmiş robotik gibi çeşitli bileşenlerden oluşan Endüstri 4.0, üretim ve üretim ile ilgili bütün süreçlerin dijital dönüşümü olarak tanımlanabilir. Kullanılan IoT(nesnelerin interneti) sistemleri ve ileri robotik uygulamaları ile üretim ve depo hatlarının dijitalleşmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte süreçler optimize edilmiş olur ve bu da işletmelerin bütün süreçlerinde verimlilik ve sürdürülebilirlik artmasını ve firmaların rekabet avantajı sağlamasını sağlar. Dijitalleşmenin önemini bilen işletmeler küresel pazarda rekabet etmek amacı ile robotik sistemleri devreye almaktadırlar. Lojistik robotların üretim ve lojistik süreçleri içerisine dahil edilmesi ile işletmelerin dijitalleşmesine katkı sağlamaktadır.

Lojistik robotları, işletmelerin üretim ve depo alanlarında son ürün sevkiyatı, hammadde ve yarı mamulün üretim hatları ve depo ya taşınması gibi işlerde kullanılmaktadır. Robotların kullanılması süreçlerdeki üretkenliği, hızı ve kaliteyi arttırırlar. Lojistik robotlarının içerisinde bulunan güvenlik donanımları ile süreçler içerisindeki hata ve kazaların önüne geçilmiş ve güvenli çalışma ortamı sağlanmış olur. Yapılan bu tez çalışmasında gelişen teknoloji ile birlikte endüstri 4.0 kavramının vazgeçilmez bir parçası olan lojistik robotlarının işletmelerdeki kullanımının ve üretimdeki sürdürülebilirliğe etkisinin araştırılması üzerine durulmuştur.

Bu çalışma içerisinde Endüstri 4.0 kavramı, lojistik robotları ve sürdürülebilirlik kavramları üzerinde durulmuş ve konu ile ilgili tez ve makaleler ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Endüstri 4.0 kavramı ve teknolojileri hakkında kısa bilgiler verilerek lojistik sektörü üzerindeki etkisi incelenmiştir. İşletmelerin lojistik faaliyetlerinin dijitalleşmesi ve

ortaya çıkan lojistik 4.0 kavramı açıklanmıştır. Lojistik 4.0 sürecinde kullanılan lojistik robotları hakkında bilgi verilmiştir ve bunu işletmeler üzerindeki sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili olan ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Son olarak işletmelerde kullanılan lojistik robotlarının lojistik robot üreticilerinin vaka analizi dokümanları incelenmiştir. Doküman analiz yöntemi ile yapılan bu çalışmada işletmelerin lojistik robotlarını kullanmasının üretim tedarik zinciri operasyonlarındaki etkisini ve önemini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Lojistik Robotlar, Servis Robotları, Dijital Dönüşüm, Sürdürülebilirlik, Endüstri 4.0, OYA, Yapay zek, Dijitalleşme

Danışman: Dr.ğr.yesi Ece Nket ÖNDOĞAN, Ege Üniversitesi, Moda ve Tasarım Yksekokulu, Endüstriyel Tasarım Blm, İzmir, Türkiye



ABSTRACT

Inventions and technological developments from the past to the present have led to the emergence of the concept of Industry 4.0 today. The application of the technologies brought by Industry 4.0 has become inevitable for businesses in the globalizing market and intense competition environment. It is growing day by day in terms of production speed and increasing supply needs, which are the expectations of the market. However, today's traditional solutions of enterprises are insufficient. It has become inevitable in today's competitive environment for businesses to invest in digital technologies, which are the returns of Industry 4.0.

In today's enterprises, speed, error-free processes, transparency and traceability have become mandatory elements in production and logistics activities within the enterprises. Transparency within the processes facilitates the follow-up of the processes. For this, all elements in the systems must communicate with each other. Technologies within Industry 4.0 make this possible. Industry 4.0, which consists of various components such as 3D printing, IoT, advanced robotics, can be defined as the digital transformation of all processes related to production and production. The digitalization of production and warehouse lines is ensured with the IoT (internet of things) systems and advanced robotics applications. In addition, the processes are optimized, which increases efficiency and sustainability in all processes of enterprises and enables companies to provide competitive advantage. Businesses that know the importance of digitalization are putting robotic systems into use in order to compete in the global market. With the inclusion of logistics robots in production and logistics processes, it contributes to the digitalization of businesses.

Logistics robots are used in the production and warehouse areas of enterprises, such as the shipment of final products, the transportation of raw materials and semi-finished products to production lines and warehouses. The use of robots increases productivity, speed and quality in processes. With the safety equipment in the logistics robots, errors and accidents in the processes are prevented and a safe working environment is provided. In this thesis study, the use of logistics robots, which is an indispensable part of the concept of industry 4.0 with the developing technology, in the enterprises and the effect of the sustainability in production are emphasized.

In this study, the concept of Industry 4.0, logistics robots and sustainability concepts were emphasized and a literature review was conducted on thesis and articles on the subject. By giving brief information about the concept of Industry 4.0 and its technologies, its effect on the logistics sector has been examined. The digitalization of the logistics activities of the

enterprises and the emerging concept of logistics 4.0 are explained. Information about the logistics robots used in the Logistics 4.0 process has been given and its relationship with the concept of sustainability on businesses has been tried to be explained. Finally, case analysis documents of logistics robot manufacturers of logistics robots used in enterprises were examined. This study, which was carried out with the document analysis method, revealed the effect and importance of the use of logistics robots in the production supply chain operations of the enterprises.

Keywords: Logistics Robots, Service Robots, Digital Transformation, Sustainability, Industry 4.0, OYA, Artificial intelligence, Digitalization

Adviser: Asst.Prof.Dr. Ece Nüket ÖNDOĞAN, Ege University, School of Fashion and Design, Department of Industrial Design, İzmir, Turkey

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
GİRİŞ.....	1
1. TEZ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
2. ENDÜSTRİ 4.0 VE DİJİTALLEŞME	6
2.1. Endüstri 4.0 Kavramı	7
2.2. Endüstri 4.0 Tarihsel Gelişimi	9
2.3. Endüstri 4.0 Genel Özellikleri	10
2.4. Endüstri 4.0'ın Prensipleri	12
2.5. Endüstri 4.0 Bileşenleri.....	13
2.5.1. Bulut Bilişim	13
2.5.2. Nesnelerin İnterneti.....	14
2.5.3. Arttırılmış/Sanal Gerçeklik.....	15
2.5.4. Siber Güvenlik	16
2.5.5. Büyük Veri ve Veri Analitiği.....	17
2.5.6. Katmanlı İmalat.....	17
2.5.7. İleri Robotik Teknolojileri	18
2.5.8. Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu	18

2.5.9. Simülasyon Teknolojileri.....	18
2.6. Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar	19
2.7. Endüstri 4.0 Sürecinde Dijitalleşme	20
3. ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0 ETKİLEŞİMİ.....	22
3.1. Lojistik 4.0	22
3.1.1. Lojistik 4.0’ın Gelişimi	23
3.1.2. Lojistik 4.0 Bileşenleri.....	26
3.2. Lojistik Sektöründe Dijitalleşme	26
4. LOJİSTİK 4.0 SÜRECİNDE LOJİSTİK ROBOT KULLANIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİ	28
4.1. Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sürdürülebilirlik.....	28
4.1.1. Sürdürülebilirlik	29
4.1.1.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik	29
4.1.1.2. Çevresel Sürdürülebilirlik.....	30
4.1.1.3. Sosyal Sürdürülebilirlik	30
4.1.2. Kurumsal Sürdürülebilirlik	31
4.2. Teknolojik Gelişmelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi	31
4.3. İşletmelerde Lojistik Robot Kullanımı ve Sürdürülebilirliğe Etkisi.....	32
4.3.1. Lojistik Robotları	33
4.3.2. Lojistik Robotlarının Özellikleri.....	34
4.3.3. İşletmelerde Lojistik Robotlarının Kullanımı.....	35
5. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....	37
6. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	40

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
7.1. Sonuçlar	45
7.2. Öneriler	46
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ	57



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Endüstri 4.0 Gelişim Süreci	8
Şekil 2. Sanayi devrimleri	9
Şekil 3. Endüstri 4.0 ve çevresindeki yapı	11
Şekil 4. Endüstri 4.0 Bileşenleri	13
Şekil 5. Bulut Bilişim	14
Şekil 6. Nesnelerin interneti (IoT)	15
Şekil 7. Sanal Gerçeklik	16
Şekil 8. Siber Güvenlik	17
Şekil 9. Akıllı Fabrikalar	19
Şekil 10. Lojistik 1.0'dan Lojistik 4.0'a Gelişim Süreci	23
Şekil 11. Lojistiğin Gelişim Süreci	24
Şekil 12. Sürdürülebilir koşullar	29

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Günümüz fabrikaları ile akıllı fabrikaların karşılaştırılması	20
Tablo 2. Küresel pazarda otonom mobil robotları üretici ve araçlarının SWOT analizi bulguları.....	41
Tablo 3. Vaka analizlerinden elde edilen bulgulara göre sektörlerde kullanılan otonom robotların faydaları	42



GİRİŞ

Tarih boyunca insanlık çoğu açıdan birçok değişim ve gelişim geçirmiştir. Özellikle geçtiğimiz son yüzyıllarda yaşanan kıtlık, savaş gibi etmenler toplumları ekonomik ve siyasi yönden etkilenmişlerdir. Günümüzde etkilenen unsurlardan en önemlisi ise şüphesiz ki teknoloji alanındaki gelişmelerdir. Teknolojide yaşanan bu gelişmelerin sanayi devrimleri ile doğrudan etkisi kaçınılmaz olmuştur. 18. yüzyılda buhar gücünün kullanılabileceği buhar makinesinin icadı ile birlikte endüstri 1.0 yani sanayi devrimlerinin ilk adımı başlamıştır.

Endüstri devrimi kavramının küreselleşmesi ise bu teknolojinin yaygınlaşması ve farklı ülkelerde bu makinelerin kullanımı ile olmuştur. Endüstri 2.0 devrimi ise elektrik enerjisinin sistemlere dahil olması ile birlikte iş bölümüne dayalı seri üretime geçilerek başlamıştır. Üçüncü sanayi devrimi yani endüstri 3.0 ile birlikte ise dijital çağ, elektronik gereçler ve bilgi teknolojileri gelişimleri ile artık üretimde otomasyona geçilmiştir. Günümüzde ise geline nokta Endüstri 4.0 ile yaşanan dijitalleşmenin üretim sürecine ve ihtiyaçlara adapte edilmesi ve geliştirilmesi olarak kabul edilmektedir.

Dijital devrim olarak da tanımlanan Endüstri 4.0 terimi ilk olarak 2011 yılında Almanya’da yapılan Hannover Fuarı etkinliğinde dile getirilmiştir. Bu kavram Almanya’da yer alan firmaların daha rekabetçi hale gelmesinden sonra tüm dünya için benimsenen bir kavram haline gelmiştir.

Teknolojinin ilerlemesi ile paralel olarak gelişen sanayi devrimleri ile birlikte endüstri sektörü, günümüzde işletmelerin üretim ve tedarik zincirinde etkin olarak yer almaktadır. Küresel rekabet ortamında hayatta kalabilmek için işletmeler yeni uygulamalar ve yaklaşımları uygulamak zorunda kalmışlardır.

Endüstri 4.0 ile birlikte dijitalleşmeyi benimseyen işletmeler daha kolay rekabet edebilmektedir. Artık günümüzde işletmelerin müşteri ihtiyaçlarına yönelik olarak yüksek verimlilik, esneklik, hızlı hareket etme ve karar alma ile ilgili karşı karşıya kaldığı zorlukların üstesinden gelebilmesi için işletmelerin teknolojiyi kullanması ve dijitalleşmeyi uygulamaya koymaları gerekmektedir.

3D baskı, IoT gelişmiş robotik gibi çeşitli bileşenlerden oluşan Endüstri 4.0, üretim ve üretim ile ilgili bütün süreçlerin dijital dönüşümü olarak tanımlanabilir. Üretim ve tedarik zinciri operasyonlarında endüstri 4.0’ı ve bütün bileşenlerini sisteme dâhil ederek işletmelerde verimlilik ve sürdürülebilirlik artırılabilir.

Dijitalleşmeye önem veren ve küresel pazarda rekabet etmek isteyen işletmeler Endüstri 4.0'a yatırım yapmaya başlamışlardır. Endüstri 4.0'ın en önemli birleşenlerinden biri olan robotik sistemlerin devreye alınması şirketler için kaçınılmaz olmuştur. Üretim ve tedarik süreçleri içerisinde robotlarında devreye girmesi ile makinelerin birbiri ile iletişimde olması, işletmelerdeki bütün süreçlerin dijitalleşmesine katkı sağlamaktadır.

Otonom robotlara yatırım yapan firmalar çoğunlukla yatırımlarının karşılığını 2-3 yıl gibi kısa bir süre içinde almaktadırlar. Otonom mobil lojistik robotları genellikle depolarda üretim tesisleri içinde son ürün, ham madde ve/veya yarı ürün taşıması gibi tekrarlayan işleri üstlenmektedir. Robotların bu alanda kullanımı büyük hacim ve ağırlıktaki malların taşınmasıyla süreçlerdeki üretkenliği, hızı ve kaliteyi arttırırlar. Sıkıcı, tekrarlayan ve hatta tehlikeli işlerin robotlara bırakılması ile birlikte insan çalışanların kas gücü yerine daha üretken pozisyonlarda çalışması sağlanabilir. Otonom mobil robotların 7/24 çalışabilir olması ve yorulmaması ile birlikte insan çalışanlardan kaynaklı oluşan kazalara ve zaman kayıplarının da önüne geçilmiş olur. Otonom mobil robotlar aynı zamanda içerisinde bulunan güvenlik donanımları ile birlikte insan çalışma arkadaşlarına daha güvenli bir çalışma ortamı da sağlamış olur.

Endüstri 4.0 ile birlikte işletmelerin hayatına giren lojistik robotlarının kullanımının sektörel faydaları ve işletmelerin rekabet gücüne katkıları vaka analizlerinin incelenmesi ile ortaya konulmak istenmiştir.

Bu çalışmanın içerisinde Endüstri 4.0 ve bileşenleri ile birlikte dijitalleşme ve akıllı fabrikalar hakkında bilgi verilmiştir. Endüstri 4.0 tanımı yapılmış olup 4. sanayi devriminin işletmeler üzerindeki etkisi üzerinde durulmuştur. Daha sonra yaşanan teknolojik gelişmelerin lojistik sektörü üzerindeki etkisi ve beraberinde getirdiği Lojistik 4.0 kavramı tanımlanmıştır. Lojistik robotların işletmelerde kullanılması ile birlikte işletmelerdeki sürdürülebilirliğe katkısı doküman analizi yöntemi ile irdelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ÖZETLERİ

1. TEZ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Endüstri 4.0 sürecinde dijitalleşme ile işletmelerde lojistik robotlarının kullanımının sürdürülebilirliğe ve pazarlama karmasına etkilerinin incelenmesi üzerine yapılan bu tez çalışmasına ait literatür araştırması yapıldığı sırada daha önce ele alınmış birçok makale, bildiri ve tez çalışması incelenmiştir fakat bu tez çalışmasının konusu ile doğrudan ilgili daha önceden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aşağıdaki literatür araştırmasında bulunan makale ve tez çalışmaları yer almaktadır.

Ö. F. Görçün tarafından 2018 yılında yapılmış olan bu çalışmada robotların, günümüzde fiziksel olarak insan formunda olmasalar da günlük yaşantının birçok alanında kendilerine yer edinmeye başladığından bahsetmiştir. Evlerde temizlik ve kişisel bakım gibi görevleri yerine getirmekten, otomobillerin ihtiyaçlarını belirlemeye kadar birçok alanda robotlarla karşılaşmak mümkündür. Bunun yanı sıra otomotiv endüstrisi gibi otomasyon ve hızlı üretim süreçlerinde, robotlar neredeyse bütün üretim faaliyetlerini insan faktörüne büyük bir bağımlılık olmadan gerçekleştirebilmektedirler. Çalışmada robotik sistemlerin lojistik sistemleri nasıl etkileyeceği, nasıl işlevsel olabilecekleri ve gelecekte bu alanda konumlarının ne olabileceği yönünde değerlendirmeye çalışmaktadır. Çalışma sonucunda ise robotik sistemlerin insanların yapabildikleri faaliyetlerin birçoğunu gelecekte üstleneceği öngörülmektedir.

E. Bottani, L. Tebaldi, G. Vignali ve G. Atzeni tarafından 2021 yılında yapılan bu çalışmada lojistik faaliyetlerin dördüncü endüstriyel devrimle nasıl değiştiği ve işbirlikçi robotların bu değişimde önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Ayrıca, lojistik alanında yapılan bilimsel çalışmaların sayısındaki artışın da işbirlikçi robotların yaygınlaşmasıyla uyumlu olduğu belirtilmektedir. Çalışma sonucunda ise, gelecek yıllarda bu alanda daha fazla büyüme öngörülmektedir. Teknolojinin rutin olarak kabul görmesi ve olgunlaşması için hala devrim niteliğinde iyileştirmelere ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır.

CemenTürk tarafından 2022 yılında yayımlanan makalede "Lojistik Akıllı Dönüşüme Devam Ediyor" başlığı altında, yapay zekâ ve otonom sistemler üzerinde yapılan çalışmalar, teknolojik gelişmeler ve dijitalleşmeyle birlikte hızla ilerlemekte ve gelecekte büyük bir pazar payına sahip olması beklenmektedir. Accenture tarafından yayınlanan bir rapora göre, yapay zekâ teknolojileri önümüzdeki yıllarda 16 farklı endüstride kullanılacak ve bu durum ekonomik

büyümeye olumlu etkiler sağlayacak olup aynı zamanda tam ve yarı otonom sistemlere yönelik birçok çalışma da paralel olarak yürütülmektedir.

Ş. Sağıroğlu, A. Yazıcı ve U. M. Demirezen tarafından 2021 yılında yayımlanan "Yapay Zeka ve Büyük Veri Kitap Serisi 2: Endüstri 4.0 ve Yapay Zeka" adlı kitapta; yapay zeka teknolojileri, bilim, sağlık ve ekonomi gibi alanlarda büyük potansiyel taşımakta olup özellikle Endüstri 4.0 döneminde, bu teknolojilerin üretim, Ar-Ge ve pazarlama aşamalarında giderek daha önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Ayrıca teknolojilerin kullanımı, yeni fırsatlar yaratma ve verimliliği artırma konusunda büyük avantajlar sunmaktadır.

E. Çirkin ve A. Özdağoğlu tarafından 2021 yılında Endüstri 4.0 alanında yapılan bir araştırmaya göre otonom robotlar sürdürülebilirlik açısından önemli bir rol oynamakta ve küresel düzeyde, Endüstri 4.0 ve içinde barındırdığı teknolojilere olan artan ilgiye rağmen, bu üretim modelinin sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını tam anlamıyla içeren kavramsal ve uygulanabilir çerçevelerde yapılan çalışmalarda eksiklikler bulunmaktadır. Çalışmada sürdürülebilir üretim ekosisteminde, otonom robotların rolü, önemi ve etkileriyle ilgili değerlendirme yapılarak, Endüstri 4.0 teknolojileri kapsamında yer alan otonom robotlar, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından çeşitli sektörlerde ve uygulama alanlarında çok yönlü kazanımlar sağlayarak sürdürülebilirlik konusuna kapsamlı bir katkı sunabileceği sonucuna varılmıştır.

F. Yılmaz tarafından 2018 yılında yapılan bir incelemeye göre, insanın hayatta kalması için temel olan iş gücü, konaklama, beslenme ve korunma gibi unsurlar, gelecek 100 yıl boyunca yapay zekâ ve robot sistemleri sayesinde daha etkili bir şekilde karşılanacaktır. Bu teknolojiler, emek ve iş alanlarında daha önemli bir rol üstlenecek ve insan yaşamına gerekli yapıları ve hizmetleri sağlayacaktır. Çalışma sonucunda tekrar eden ve riskli işler için robotların kullanılması etkili bir çözüm sunduğu ve bununla birlikte, robotların işlerini kaybetme riskiyle karşı karşıya olan alt kültür ve orta-alt gelir düzeyindeki çalışanlar için politika ve eğitim gibi destek önlemlerinin alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

C. Wong, E. Yang ve D. Gu tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen çalışmaya göre, zorlu ortamlar için otonom robotların geliştirilmesi, çeşitli zorlukları beraberinde getirmekte olup saha testlerinde ve gerçek dünya uygulamalarında büyük çaba gerektirmektedir. Çalışmada zorlu ortamlar için geliştirilen robotik ve otonom sistemlerin kapsamlı bir genel bakışı sunulmuştur. Bu ortamların birçoğu, çeşitli robot sınıflarının gelişimini yönlendiren ortak zorlukları paylaşmaktadır.

Ö. N. Türkmen tarafından 2022 yılında yapılan çalışmada, insan gücüyle gerçekleştirilen operasyonların yerine otonom araçlar ve robotlar kullanılarak, Endüstri 4.0 ve diğer teknolojik gelişmeler tedarik zinciri ve lojistik süreçlerinde dönüşüme yol açmakta olduğu ve örnek olarak araçların otonom olarak yönlendirilmesi ve rotaların optimize edilmesiyle lojistikte verimlilik artışı sağlanabilirken, depo sistemlerinde teknoloji entegrasyonu da verimlilik ve karlılık seviyeleri yükseltilebilir olduğu vurgulanmaktadır.

O. Meçik, ve N. B. Doğru tarafından 2018 yılında yapılan bir araştırmada, üretim süreçlerinde, insanın doğasından kaynaklanan yüksek maliyet ve hata yapabilme eğilimi gibi özellikleri nedeniyle, emeğin sermaye tarafından yerine konması dinamizm kazandırmıştır. Robotlaşma, üretim süreçlerinde emeğin sermaye tarafından ikame edilebilirliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, insan faktörünün yerine otomatik sistemlerin geçmesiyle gerçekleşen bir dönüşüm olarak görülmektedir. Çalışmada, Endüstri 4.0 döneminde karar almada işgücü piyasası profesyonellerinin istihdam kararını etkileyen faktörler belirlenerek, nitelikli işgücü profilinin geliştirilmesi, dijital dönüşümün hızlanması için zorunlu bir adım olarak gösterilmesi saptanmıştır. Çalışma sonucunda ise ortaya çıkan Türkiye ekonomisi için belirtilen çerçevede önemli bir fırsat potansiyeli oluşturduğu vurgulanmıştır.

K. Toker tarafından 2018 yılında yapılan bu çalışmada, öncelikle Endüstri 4.0 ile ilgili kısa bir bilgi verilmiştir. Daha sonra literatür taramasında iş dünyasındaki Endüstri 4.0'ın iş dünyası üzerindeki tartışmalar değerlendirilmiştir. Bundan dolayı yapılan bu çalışmada sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi boyutlarında değerlendirilmesi ve bu yeni kavramın ve konularının araştırmacılar için yeni bir çalışma alanı yaratması hedeflenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 VE DİJİTALLEŞME

2. ENDÜSTRİ 4.0 VE DİJİTALLEŞME

Sanayi Devrimleri, modern tarihte, tarım ve zanaat ekonomisinden sanayi ve makine imalatının egemen olduğu ekonomiye geçiş süreçlerini ortaya koymaktadırlar. Bu teknolojik değişimler, yeni çalışma ve yaşama biçimlerini ortaya çıkarmış ve toplumu temelden dönüştürmüştür. İngiltere, endüstriyel bağlantılı üretimlerin başladığı ilk ülkedir. 18. yüzyılın sonlarında ve 19. yüzyılın başlarında (1760-1840), İngiltere'de toplu olarak Sanayi Devrimi (IR) olarak bilinen güçlü sosyo-ekonomik değişiklikler olmuştur. Böylece Sanayileşme süreci 18. yüzyılda İngiltere'de başlamış, oradan da dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır.

Daha önce Fransız yazarlar tarafından kullanılmasına rağmen, Sanayi Devrimi terimi ilk kez İngiliz ekonomi tarihçisi Arnold Toynbee (1852-83) tarafından İngiltere'nin 1760'tan 1840'a kadar olan ekonomik gelişimini tanımlamak için popüler hale getirilmiştir (Kahyaoğlu, 2009). Çin ve Hindistan gibi bazı bölgelerde ilk sanayi devrimleri 20. yüzyıla kadar başlamazken, Amerika Birleşik Devletleri ve Batı Avrupa gibi bazı bölgelerde 19. yüzyılın sonlarında "ikinci" sanayi devrimleri yaşanmaya başlanmıştır. Günümüze kadar sanayileşme süreci, dört temel aşamada gerçekleşmiştir:

- a. Su ve buhar gücü kullanılarak üretim mekanizasyonu
- b. Seri üretim (Araba üretiminde otomasyonda öncü konumunda olan Henry Ford genellikle yenilikçi olarak anılmaktadır)
- c. Dijital devrim (örneğin, takım tezgahı sayısal kontrolü, programlanabilir mantık denetleyicileri, doğrudan dijital kontrol ve kurumsal kaynak planlaması)
- d. Siber-fiziksel sistemlerden, gömülü bilgi işlemden, Nesnelerin İnterneti teknolojilerinden yararlanan Endüstri 4.0

Endüstrileşme sürecine bakıldığında Endüstri 4.0'dan önce 1., 2. ve 3. Sanayi devrimi olmak üzere 3 farklı sanayi devriminin yaşandığı görülmektedir.

Endüstrileşme süreci 1765 yılında James Watt'ın fabrikalarda Buhar Makinesini kullanması ile 1. Sanayi devrimi başlamış, işletmelerin üretimi için gerekli enerjinin sağlanmasında odun yerine maden kömürü ile buhar kullanımı sonucu üretimde iş ve iş gücü artırmış, bu da, üretimde makineleşmeyi arttırırken aynı zamanda üretimin farklı fabrikalarda

yapılmasına olanak tanımıştır. Bunun sonucunda geleneksel aile şirketleri ve küçük atölyeler, yerini profesyonel fabrikalara bırakmıştır.

1. Sanayi devrimi döneminde, buhar makinesinin bulunması, dikiş makinesi, çırçır makinesi, uçak, motorlu taşıt gibi teknolojilerin gelişmesine yol açmıştır. Sanayileşme ile yaşanan bu gelişmeler, ülkelerin ve toplumların sosyo-ekonomik yapısını olumlu anlamda etkilemiştir (EBSO, 2015).

Endüstri 4.0, şirketlerin ürünlerini üretme, geliştirme ve dağıtma yöntemlerinde devrim yaratmaktadır. Endüstri 4.0 sürecinde dijitalleşmenin de etkisi ile işletmeler, “Nesnelerin İnterneti (IoT)”, “Bulut Bilgi İşlem” ve “Analitik”, “Yapay Zekâ” ve “Makine Öğrenimi” gibi yeni teknolojileri üretim tesislerine ve operasyonları boyunca entegre etmektedirler.

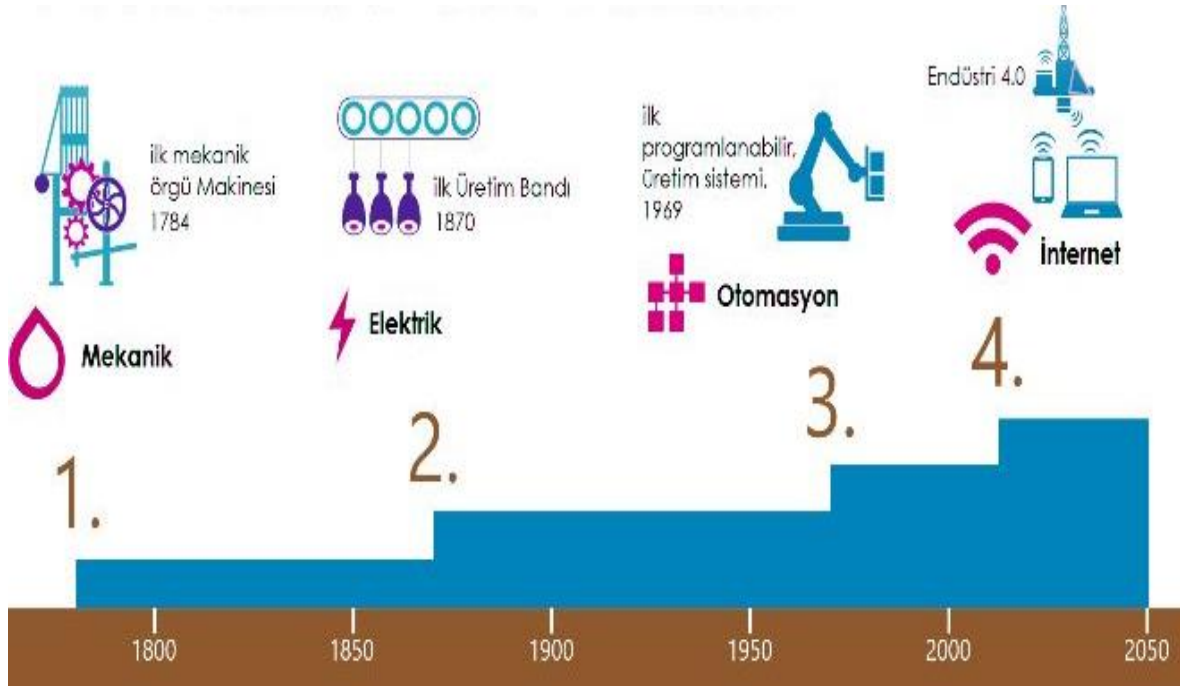
Endüstri 4.0, daha fazla verimlilik için şirket sınırları boyunca üretim ve ticaretin tüm yönlerinin entegrasyonu ile endüstriyi geliştirmeye yönelik bütünsel bir otomasyon, iş bilgisi ve üretim yürütme mimarisini ortaya koymaktadır. İlk olarak Almanya’da kullanılan Endüstri 4.0 kavramı, dijitalleşme sürecinde akıllı fabrikalar, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti, akıllı üretim ve gelişmiş üretim gibi dünya çapındaki girişimlerle uyum içinde hızla gelişimini sürdürmektedir.

2.1. Endüstri 4.0 Kavramı

Endüstri 4.0 işletmelerdeki bütün süreçlerin verilere dayalı bir şekilde yönetildiği, makineler arası iletişim, nesnelerin interneti, büyük veri gibi teknolojilerin bir arada kullanılması ile ortaya çıkan sanayi devriminin yaygın kullanılan adıdır. Bilişim teknolojilerinin ve dolayısı ile internetin Endüstri 4.0 sürecinde yaygın olarak kullanılması işletmelerdeki bütün süreçlerdeki bilgilerin eş zamanlı olarak paylaşılmasını sağlamak ve bu sayede hızla gelişim göstermektedir (Kabaca, 2019).

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı’nda ortaya çıkmıştır. Almanya’da yer alan ve Endüstri 4.0’ı benimseyen işletmelerin sektörde daha rekabetçi hale gelmesiyle Endüstri 4.0 kavramı popülerleşerek dünya çapında benimsenmeye başlamıştır. Yine 2011 yılında Endüstri 4.0 kavramı resmî belgelerde yer alarak yeni sanayi devrinin kanıtı olmuştur (MacDougall, 2014). Endüstri 4.0 kavramı “makinaların, bilgisayarların, insanların ve nesnelerin interneti” şeklinde tanımlanabilir (Evans and Annunziata, 2012) (Şekil 1.).

Endüstri 4.0'ın gelişim süreci Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 Gelişim Süreci

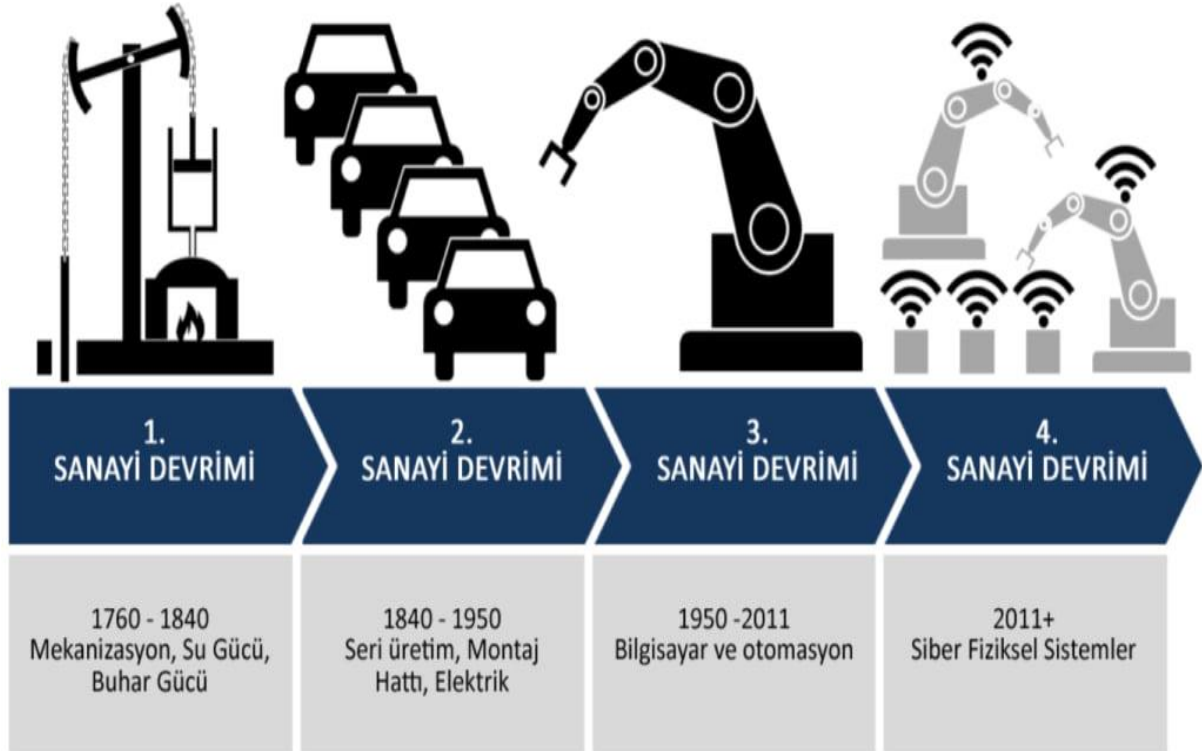
(<https://www.stendustri.com.tr/endustri-40-uygulamalari/endustri-40-nedir-h95384.html>)

Endüstri 4.0 teknolojileri ile gelen Akıllı Endüstri kavramı; gömülü sistemlerden siber-fiziksel sistemlere geçişi ifade eder. Endüstri 4.0 ile gerçek ve sanal dünyanın etkileşimi mümkün kılınır. Endüstri 4.0 teknolojileri işletmelerde ki üretim ve lojistik süreçlerinin birbirleri ile iletişim kurarak bağımsız süreçleri özerk bir şekilde yürütülmesine yardımcı olur. Endüstri 4.0 kavramı, üretim ve üretim ile ilgili bütün süreçlerin dijital dönüşümü olarak ifade edilebilir.

Endüstri 4.0 içerisinde birçok karmaşık yapıdaki güncel otomasyon sistemleri, veri alışverişleri ile ileri hizmet ve üretim teknolojilerini içeren çok yönlü bir kavramdır. Endüstri 4.0'ı diğer kavramlardan ayıran en önemli ayırt edici özellikleri; sistem etkisi, genişlik ve derinlik ile sağladığı yüksek iletişim ve hızdır (Schwab, 2016). Bu etkenlerin ışığında, Endüstri 4.0'ı “red etmek” gibi bir tercih bulunmamaktadır. O nedenle burada önemli olan öncelikle Endüstri 4.0'ı anlamak, bu konuda kendini geliştirmek, nasıl kullanacağını bilebilmektir. Böylece işletme, tüketici, çalışan ve sistemde yer alan diğer bütün paydaşlar açısından fayda yaratılabilir (Fıraf & Fırat, 2017). Endüstri 4.0'dan beklentiler de oldukça fazla olmaktadır. Bu beklentiler arasında; daha fazla esneklik, kolay entegrasyon, üretimde yüksek verimlilik, daha modüler sistemlerin uygulanabilmesi, kendi başına karar verip uygulayabilmesi ve gerektiğinde önlem alabilmesi, yani otokontrolün yüksek olması ve yeni iş modellerine olanak sağlaması gibi birçok beklenti yer almaktadır.

2.2. Endüstri 4.0 Tarihsel Gelişimi

Birinci Sanayi Devrimi 1750’li yıllarda İngiltere’de ortaya çıkmıştır. Dokuma tezgâhlarının mekanikleşmesi ile etkisini göstermeye başlamıştır. Odunun yerine maden kömürünün ve hatta buharın kullanılması ile makinelerin gücünün artırılması ile makineleşme ve böylelikle üretimin fabrika ortamlarına taşınmasını sağladı. Bu durum üretimin küçük imalathanelerde fabrikalara bırakmasını sağlamıştır (Eldem, 2017). Sanayi devrimlerinin gelişimi şematik olarak Şekil 2.’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sanayi devrimleri (Gürün, 2019)

20. Yüzyıl başlarında ise petrol tabanlı motorların kullanılması, çelik materyalinin yaygınlaşması ve fabrikalarda elektriğin kullanılması ile 2. Sanayi Devrimi’ne geçilmiş oldu. Fabrikalarda elektrik enerjisinin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte Henry Ford’un otomotiv sektöründe seri üretim bandı sistemine geçmesi üretim yöntemlerinin çeşitliliğinin ve veriminin artmasını sağlamış ve sanayinin ve işletmelerin hızla büyümesini sağlamıştır. Demir yolu taşımacılığı ile birlikte ticaretin artması ve radyo, gazete ve hatta telefon gibi yeni gelişmeler ile birlikte haberleşme ve iletişim de gelişmiştir (Gürün, 2019).

1900’lerin ortasından günümüze kadar ise Endüstri 3.0 devrimi sürmüştür. İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında gelişen teknolojiler ile elektronik, bilgi ve iletişim konusunda yaşanan gelişmeler üretimin otomasyonunu sağlamıştır. Programlanabilir makineler ile üretim otomasyonda ileri aşamalara taşınmıştır.

Günümüze gelindiğinde Endüstri 4.0 bu gelişen teknoloji ve değişen otomasyon ve üretim sistemlerini etkilemesiyle ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 sürecinde gelişen teknoloji ile birlikte internet, sensörler ile veri toplama, yapay zekâ ve robotik teknolojilerinin işletmelerin üretim ve tedarik süreçlerin tamamen entegre edilebilecek konuma gelmiştir.

2.3. Endüstri 4.0 Genel Özellikleri

Endüstri 4.0'ın diğer sanayi devrimlerinden farklı kılan özelliği tamamıyla içinde barındırdığı teknolojileri sanayiye entegrasyonunu sağlamaktır. Endüstri 4.0, bilgi teknolojilerini endüstrinin her alanıyla buluşturarak işletmelerin her alanında verilerin toplanmasını ve analiz etmesini sağlayarak daha verimli bir iş sürecinin oluşmasını sağlamaktadır.

Endüstri 4.0. olarak adlandırılan bu devrim, ilk tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan bütün üretim ve tedarik zincirinin gelişmiş dijital teknolojiler yani donanım ve yazılım ile donatılması ve oluşan siber-fiziksel sistemler ve büyük veri ile üretim sürecinde verimlilik, esneklik, hız ve kalitenin artmasını amaçlamaktadır. Akıllı, elektronik sistemlerin internet ile bağlı olduğu sistemlere Siber-Fiziksel Sistemler denilebilir. Kısaca Endüstri 4.0 işletmelerin içerisinde var olan sistemlerin donanım ve yazılımlar ile donatılmasını içermektedir.

İçerdiği karmaşık ve sürekli gelişen yüksek teknolojiye dolayı Endüstri 4.0; üstün bir bilişim alt yapısı olmadan başarılı olamaz. Sürekli kendini yenilen iyi bir alt yapı ile akıllı üretimlerin gerçekleşmesi sağlanırken, hukuki yapı ile Endüstri 4.0 süreci giderek güçlenecektir. Bu durumlar da teknolojiyi en iyi şekilde kullanan, birimler arası kolaylıkla etkileşim sağlayıp entegre olabilen yeni iş modellerinin de gelişmesine olanak tanıyacaktır (Özsoylu, 2017).

Endüstri 4.0'ın işletmelere sağlayacağı birçok avantaj vardır. Bunlardan ilki; işletme içerisinde bulunan bütün sistemlerin izlenebilir olmasını sağlaması ve böylelikle arıza gibi durumlarda teşhisin kolaylaşmasıdır. Böylece sistemler üzerinde donatılan sensörler ile makinelerin akıllı cihazlara dönüşmesi ve sistem bileşenlerinin öz farkındalıklarının oluşması ve bu bileşenlerden veri alınabilmesidir.

Bir diğer avantajı; akıllı sistemler ile birlikte sistem bileşenlerinin çevre dostu olarak kaynak tasarrufu sağlaması ve dolayısı ile sistemin sürdürülebilir olması, böylece alınan veriler ve sonrasında sistemlerin optimizasyon sağlanarak verimliliklerinin artmasıdır. Bunların dışındaki avantajları; üretimde yer alan teknolojiler ile birlikte esnekliğin artması ve bu faydaların maliyeti azaltması ile birlikte işletmelerde yeni hizmet ve iş modellerinin geliştirilebilir olmasının sağlanması olarak sıralanabilir.

Endüstri 4.0 kapsamında yer alan modüler yapıdaki akıllı fabrikalarda, üretim ve hizmet aşamalarında gerçekleştirilen fiziksel işlemleri siber-fiziksel sistemler ile izleme, işletme içerisinde ve dışında yer alan fiziki çevrenin sanal kopyasını oluşturma ve merkezi olmayan kararların verilmesi belirlenen hedefler arasında yer almaktadır. Bu şekilde insanlar ve Nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler ile nesnelerin interneti birbirleri ile gerçek zamanlı olarak iletişim kurabilmekte fiziki-sanal işbirliği sağlayarak sistem içerisinde entegre olarak çalışabilmektedirler. Sistem içerisinde hizmetlerin interneti ile de işletme içi ve dışında yer alan birimler ve örgütler ile kurulan iletişim ile örgütsel çapraz hizmetler sunulmakta, elde edilen faydalar da değer zincirinin kullanıcıları tarafından değerlendirilmektedir. Endüstri 4.0 farkındalığının artması, çalışan, pazar, ürün, sürdürülebilirlik ve yenileşmeyi olumlu yönde etkilemektedir (Çetinkaya, 2021). Bu etki aynı zamanda Endüstri 4.0 içerisinde yer alan birimler ile çevre elemanlarına da olumlu anlamda etki etmektedir.

Şekil 3.'de Endüstri 4.0 içerisinde yer alan birimler ve çevre elemanları gösterilmektedir.



Şekil 3. Endüstri 4.0 ve çevresindeki yapı

Endüstri 4.0, dijitalleşme ile birlikte kullandığı bilişim teknolojilerini tasarım ve üretim fonksiyonları ile birleştirerek bir arada kullanılmasını sağlayan kavramların bütünleşik bir sistem haline kullanımıdır. Süreç, özellikle günümüzde çok önemli bir kavram olan Siber işlemlerin fiziksel sistemlerin yerini alması ya da onunla bütünleşik olması yani Siber-fiziksel sistemler ile nesnelerin interneti ve hizmetlerin internetine dayanmaktadır.

Siber–fiziksel sistemlerin kullanımı, insanlardan bağımsız olarak da işlemleri yürütebilen, sahip olduğu algoritma ile çalışmalarını kendi kendine koordine ve optimize edip, üretim yapabilecek “akıllı fabrika” sistemlerinin oluşumu demektir. Özellikle günümüzde yapay zekânın giderek gelişmesi bu anlamda çok büyük aşamaların kat edilmesine yol açmaktadır. Temelde bakıldığında Endüstri 4.0 süreci 3 yapıdan meydana gelmektedir: Nesnelerin İnterneti, Hizmetlerin İnterneti, Siber–Fiziksel Sistemler (Madakam, Ramaswamy, Tripathi, 2015). Endüstri 4.0’ın hedefleri arasında ise; Değişen talebe en iyi uyumu sağlayan ürün ve hizmet üretimin gerçekleştirme, akıllı makinelerin kullanımı sayesinde ürün ve parça takibini yapmak ve kendini tanımasını sağlamak, insan-makine etkileşimini arttırmak, nesnelerin internetinde üretimin optimizasyonu sağlamak, etkileşime katkı sağlayan iş modellerini uygulamak gerektiğinde hızlı değişimi sağlamak yer almaktadır (Santos, 2017).

2.4. Endüstri 4.0’ın Prensipleri

Endüstri 4.0 kavramı 6 prensibe dayanmaktadır (Aslan, 2018):

1) Karşılıklı Çalışabilirlik

İşletmelerin içerisinde yer alan bütün sistemlerin birbirleri ile ve insan çalışanlarla, internet servisleri ve nesnelerin interneti ile birlikte birbirleriyle iletişim kurma yeteneğini ifade etmektedir (Sarıcıoğlu vd., 2022).

2) Sanallaştırma

Sanallaştırma, akıllı fabrikaların sanal kopyasını oluşturması olarak tanımlanabilir. Bu kavram sistemlere bağlanan sensör verilerinin simülasyon modelleri ile bağlanması ile oluşur.

3) Özerk Yönetim

Endüstri 4.0 bileşenleriyle donatılan işletmelerin içerisinde yer alan siber-fiziksel sistemler kendi kararlarını verme yeteneğine sahiptir.

4) Gerçek Zamanlı Veri Yönetimi Yeteneği

Endüstri 4.0 ile İşletmeler, içerisinde oluşan bütün süreçlerle ilgili verilerin anlık olarak toplanması ve doğru bir şekilde analiz edilme yeteneği kazanmaktadır. Sistemin içerisinde yer alan bütün cihazlardan gelen veriler tek bir cihazda toplanır ve analiz edilir. Böylelikle hata ve yanlış uygulamalarda anlık olarak üretime müdahale edilebilir (Cormind, 2022).

5) Hizmet Oryantasyonu

Hizmet oryantasyonu makinelerin sahip olduğu sensörler ile oluşan siber-fiziksel sistemlerden alınan verilerin herkes tarafından ulaşılabilir olmasını ifade etmektedir.

6) Modülerlik

Endüstri 4.0’da modülerlik sistemlerin içerisinde yer alan modüllerin değişen gereklilikler ile birlikte küçük yazılımsal müdahaleler ile birlikte esnek adaptasyon yeteneğinin olmasıdır. Modülerlik sayesinde üretimde çeşitlilikte kolaylıkla artabilir.

2.5. Endüstri 4.0’ın Bileşenleri

Endüstri 4.0’ın işletmelerde tam anlamıyla uygulanabilmesi için içerisinde yer alan teknolojiler ile mümkündür (Tecim, 2023) (Şekil 4.).

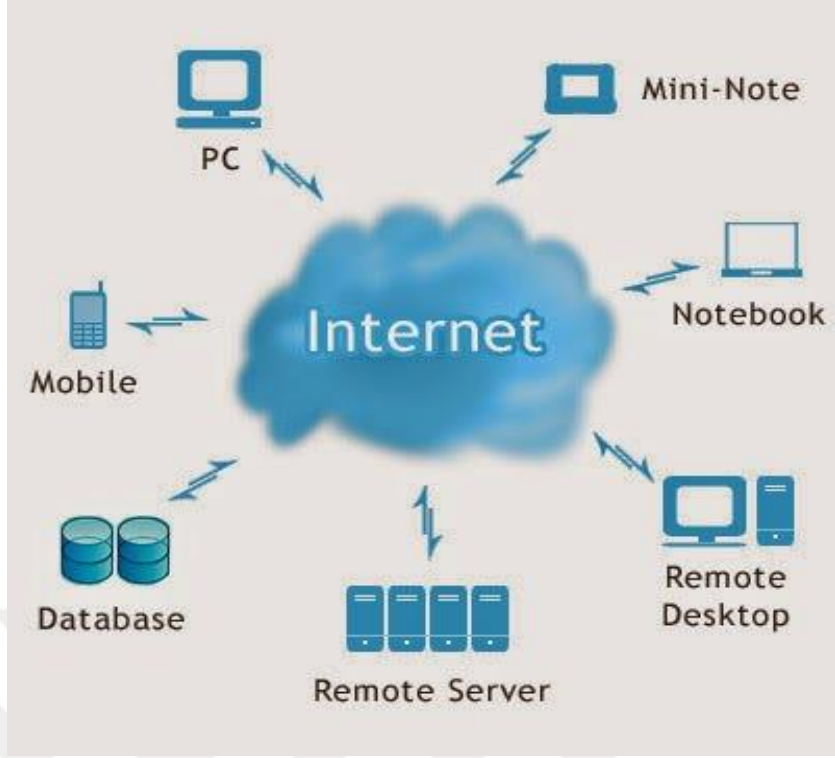


Şekil 4. Endüstri 4.0 Bileşenleri (İlhan, R., 2020)

2.5.1. Bulut Bilişim

Bulut bilişim (Cloud Computing) teknolojileri var olan bütün bilgilerin harici sunucular içerisinde depolanması ve yalnızca internet aracılığı ile erişilebilen uygulama olacak tanımlanabilir. Endüstri 4.0’ın getirdiği teknolojiler ile yazılımlar, programlar veya veriler güvenli bir şekilde internet içerisinde tutulabilmektedir. Bulut bilişim teknolojisi kullanılarak kişilerin bilgisayarındaki veri yükü hafifletilerek işletmelerin büyük verileri sunucularda saklanır. İnternete bağlı cihazlar aracılığı ile bulutta depolanan verilere zaman ve mekân ayırt etmeksizin erişmek mümkündür.

Bulut bilişim, bütün bilgisayarlar ve onların dışında kalan cihazlar için, istendiğinde kullanılabilen ve kullanıcılar arasında paylaşılan bilgisayar kaynakları sağlayan, internet tabanlı bilişim hizmetlerinin genel adıdır. Kısaca bulut bilişim internet olan her yerden erişimin sağlanabildiği sistemin genel adıdır (Şekil 5.).



Şekil 5. Bulut Bilişim

(<https://blog.codevist.com/bulut-bilisim-be8173a9234d>)

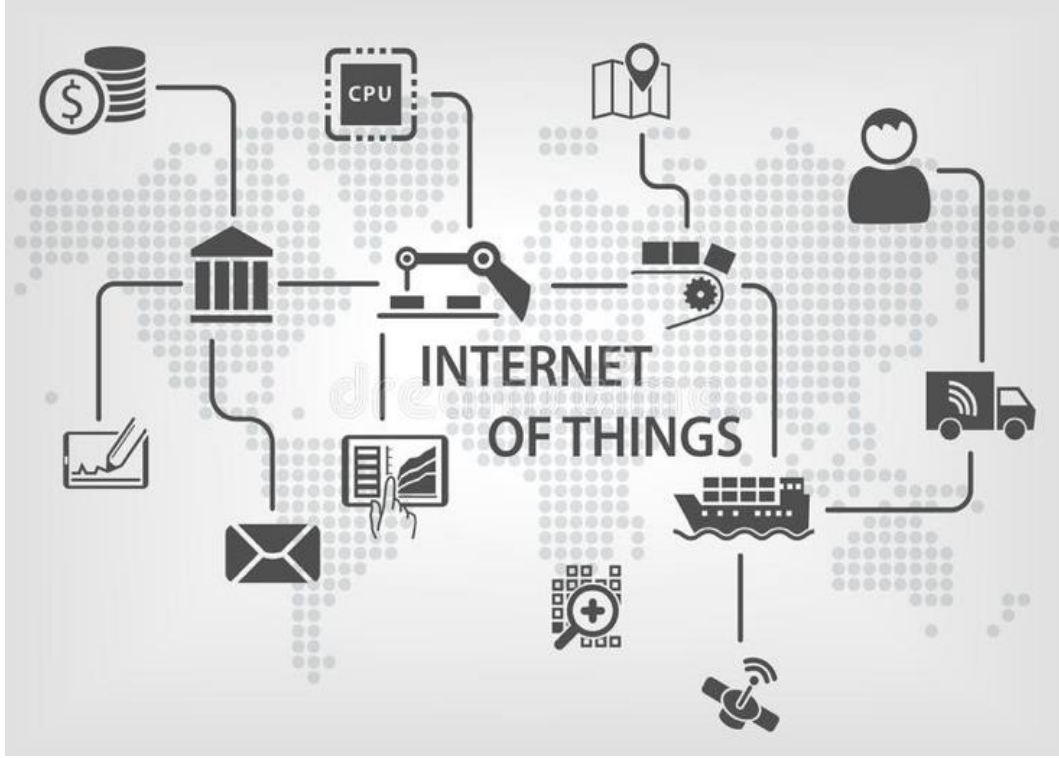
Bulut bilişimin; Gizlilik, düşük maliyet, ölçeklenebilir bulut hizmeti, her an erişilebilecek ve depolamaya yarayan bulut sistemi, sürekli güncelleme yapma olanağı, lisans maliyetlerini en aza indirmeye gibi birçok faydası bulunmaktadır.

2.5.2. Nesnelerin İnterneti

Endüstriyel nesnelerin interneti yani yaygın kullanılan adı ile IoT, sensörler ile fiziksel nesnelerin, makinelerin, üretimde kullanılan bütün cihazların, robot ve simülasyonlardan alınan verilerin internet aracılığı ile toplanması ve birbirleri ile haberleşmesini kapsamaktadır. Üretim hatlarında sensörler aracılığı ile verilerin toplanması ve bu verilerin işlenmesi ve kullanılması dijital üretimi sağlamaktadır (Akarsu, 2022). Kısaca IoT, fiziksel sistemler ile internet ortamını birleştiren teknoloji olarak açıklanabilir (Bonilla, vd., 2018).

Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramı, içinde yer alan ağ sistemi bağlantıları ile fiziki aygıtların entegre olarak birbiri ile etkileşimini gerçekleştirip iletişim kurmalarını sağlamayı ve bütün bu nesnelerin uzaktan kontrol edilebilmesini ifade etmektedir. IoT teknolojisi makinedeler arası iletişimi sağladığı için de (Machine to Machine–M2M), günümüz Endüstri 4.0 sürecinde çok önemli bir role sahiptir (Pamuk ve Soysal, 2018). IoT teknolojisi ile birlikte sensörlerden gelen veriler aracılığı ile işletmelerin yönetimi ve bakım faaliyetleri anlık değerlendirilerek kolay müdahale edilebilir hale gelmektedir. IoT ile, elle veri girişine veya

farklı bir şekilde insan müdahalesi olmadan işletmede yer alan bütün sistemlerin kendi kendine haberleşmesi, verilerin toplanması ve veriler yardımıyla makinelerin karar verebilen akıllı sistemlere dönüşmesi sağlanmaktadır. Bundan dolayı Endüstri 4.0 sürecine en büyük katkının nesnelerin interneti teknolojisinin olduğunu söylemek mümkündür. Sensörler ile sağlanan veri akışının sanal ve gerçek arasındaki etkileşimine hız kazanması sağlanmıştır (Kosti, 2022).



Şekil 6. Nesnelerin interneti (IoT)

<https://t24.com.tr/yazarlar/hayri-cem-haftalik/endustri-4-0-in-bilesenleri-nesnelerin-interneti,26591>

2.5.3. Arttırılmış/Sanal Gerçeklik

Bilgisayar programları ile oluşturulan sanal ortamlara arttırılmış - sanal gerçeklik adı verilmektedir. Sanal gerçeklik bilgisayar aksesuarları ile kullanılan ve gerçek ortamları ve insan hareketlerini taklit eder. Bilgisayar modelinden üç boyutlu olarak oluşturulan ortamlar insanların katılımıyla hareket kazanır (Akben, Avşar, 2018).

Arttırılmış gerçeklik ile sanal gerçeklik arasındaki fark, arttırılmış gerçeklik teknolojisi ile gerçek dünyadan bağımsızın kopmamasıdır. Sanal gerçeklik gözlükleri ile sadece bilgisayar ortamında oluşturulmuş üç boyutlu ortamları görürken, arttırılmış gerçeklik ile gerçek dünyayı görmeye devam ederiz. Bu teknoloji sayesinde insanlara ek yetenekler kazandırarak algı gücünü artırır (Kosti, 2020). Sanal Gerçeklik yani “Virtual Reality–VR”, kişinin fiziki olmayan sanal bir evrenin içindeymiş gibi hissetmesine neden olan yazılımların ve araçların bütünüdür (Şekil 7.).



Şekil 7. Sanal Gerçeklik

<https://www.yzlm.com.tr/eglence/sanal-gerceklik/sanal-gerceklik-ve-artirilmis-gerceklik-nedir/>

2.5.4. Siber Güvenlik

Siber güvenlik sistemleri kısaca işletmelerin, kullanıcıların veya sistem verilerinin bilgisayardaki varlıklarını korumak için kullanılan araçlar olarak tanımlanabilir. Siber güvenlik sayesinde, bilgisayarların yazılım, donanım ve ağların internet ve bilgisayar ortamında oluşabilecek güvenlik açıklarından korunması sağlanır (Ahmet, 2021). Siber güvenlik işletmelerin, bilgi kaynaklarının değil kişilerinde siber suçlardan korunmasını sağlar.

Endüstri 4.0 ile gelişen teknolojiyle birlikte işletmelerdeki cihazlar ağ ve sensörler yardımı ile birbirleriyle çalışmakta ve sürekli haberleşmektedirler. İşletmeler bu yolla birçok kritik veriyi depolamaktadır. Depolanan bu veriler güvenlik açısından öneme sahiptir. Endüstriyel sektörlerde yer alan işletmelerin bu sebepten dolayı siber güvenlik ağı ile bu verileri güvence altına almak zorundadır (Yılmaz, vd., 2021) (Şekil 8.).



Şekil 8. Siber Güvenlik

<https://berqnet.com/blog/siber-guvenlik-nedir>

2.5.5. Büyük Veri ve Veri Analitiği

Makinelerin oluşturduğu sistemlerden sensörler yardımı ile toplanan verilere büyük veri adı verilir. Nesnelerin interneti ve bulut teknolojisinin kullanımı ile makinelerin birbirine bağlanmasına ve büyük boyutlarda verinin toplanmasına olarak verir bu verilerde büyük veriyi oluşturur (Gedik, 2021).

Büyük veri analitiği ve teknolojileri birden fazla sistemden veri toplamayı, veri analizini ve bu verilerin kullanımı ile süreçlerin optimizasyonunun sağlanmasını sağlar. Bundan dolayı büyük veri analitiği teknolojisi işletmelerde veri yönetiminde veri toplama, depolama ve bu verilerin analiz edilmesinde önemli bir teknolojidir (Bi ve Cochran, 2014).

2.5.6. Katmanlı İmalat

Katmanlı imalat, alışagelmış üretim ve işleme tekniklerinin yerine montaj ihtiyacı olmadan 3D baskı gibi katmanlı bir şekilde yapılan üretim yöntemidir. Katmanlı üretimde, üretilecek parçaların öncelikle bilgisayar ortamında 3 boyutlu modelleri oluşturulur. Daha sonra oluşturulan modeller özel yazılımlar ile birlikte 3 boyutlu yazıcı vasıtası ile tabandan başlanarak katman katman olacak şekilde üretilir (Kahraman, 2022). Böylelikle tasarımda ve üretimde büyük esneklik sağlanmış olur.

Katmanlı imalatın en büyük avantajlarından biri polimer, metal, kompozit, hatta ahşap gibi malzemelerin kullanılarak, esnek tasarım ile 3 boyutlu modellerin hassas bir şekilde katman katman üretilmesini mümkün kılmasıdır. Katmanlı imalat teknolojisi hafif parçalar üretilmesi, montaj işlemini azaltması ve hızlı üretim gibi avantajlarından dolayı Havacılık ve uzay, biyo-medikal, tıp, otomotiv gibi çeşitli birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır (İdeaport, 2021).

2.5.7. İleri Robotik Teknolojileri

Endüstri 4.0'ı benimseyen işletmelerin sistemlerine dahil edilen ileri robot teknolojileri, üretimin ve tedarik zincirinin verimliliğini ve performansını olumlu yönde etkilemektedir. İleri robot teknolojileri, insan ile birlikte güvenli bir şekilde çalışan kolaboratif robotları ve insan işçilerin olduğu ortamlarda güvenli bir şekilde lojistik faaliyetlerini gerçekleştiren otonom mobil robotlarını kapsamaktadır (İlhan, 2020).

Robotlar günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte üretim alanlarında taşıma, montaj, kesme gibi birçok alanda çalışabilmektedir. Özellikle sıkıcı, tekrarlayan veya tehlikeli alanlarda yapılması gereken işleri insan çalışanlardan devralan robotlar üretime hız ve istikrar kazandırarak verimliliği arttırmıştır.

2.5.8. Yatay/Dikey Yazılım Entegrasyonu

Yatay yazılım entegrasyonu, üreticiler ve sektördeki diğer işletmeler veya tedarikçileri ile arasındaki yazılımı tanımlar. Dikey yazılım entegrasyonu ise işletme içerisindeki yazılımdır. İşletme içindeki birimler bu yazılımları kullanarak anlık bilgileri birbirleri ile paylaşabilir (İlhan, 2020).

Yatay/ Dikey yazılım entegrasyonu işletmeler içerisinde yer alan sistem bileşenlerini birbirine bağlamayı ifade etmektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte sistemlerin birbirine bağlantılı ve sürekli veri akışı sağlaması kritik bir durumdur. Veri akışının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için her alanda yatay ve dikey entegrasyon elde etmek gerekmektedir (Yelis, 2022). Bu yazılımların kullanılması işletmelere daha esnek bir yapı sağlar böylelikle ihtiyaçlara uygun basit yazılım güncellemeleri ile sorunlarını giderebilirler.

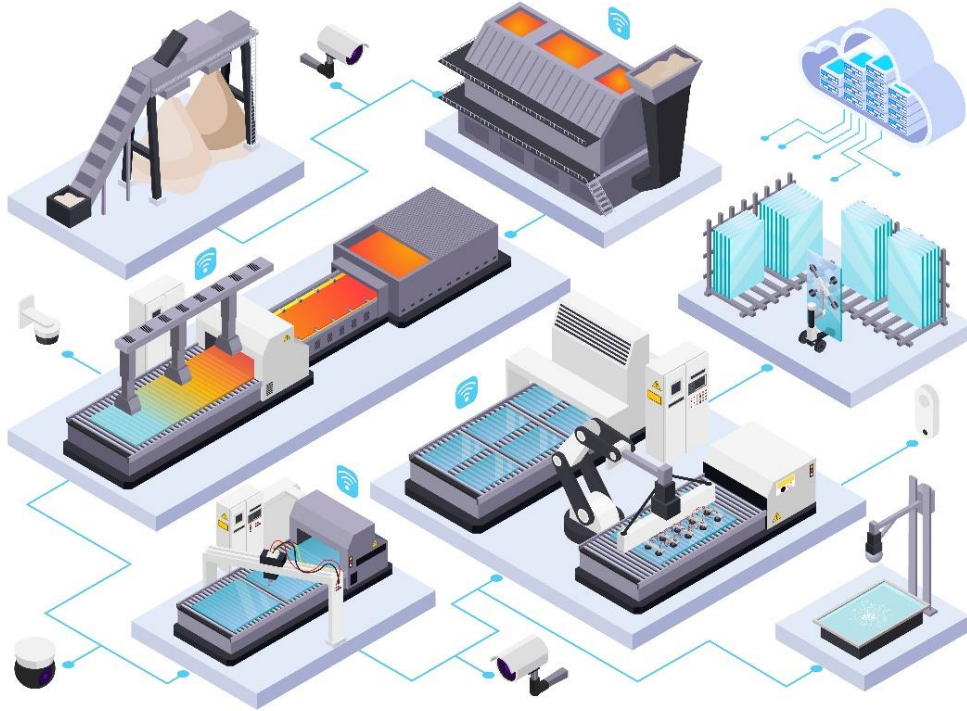
2.5.9. Simülasyon Teknolojileri

Simülasyon teknolojileri, işletmelerin içerisinde yer alan sistemlerin bilgisayar ortamında oluşturulması ve sistemler üzerinden sistem deneylerinin bilgisayar aracılığı ile yapıldığı teknolojileri içermektedir.

Simülasyon, işletmelerin makinelerin ve üretim süreçlerinin bilgisayarda üç boyutlu olarak ve gerçek zamanlı veriler ile oluşturulan sanal modellerdir. Simülasyonda fiziksel dünya sanal dünyaya aktarılmaya çalışılarak üretimin test edilmesini sağlayarak verimliliği arttırmak amaçlanmaktadır (Koştı, 2020).

2.6. Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar

4. Sanayi devrimi ile birlikte fabrikalarda üretim ve tedarik zinciri süreçlerini yenilemek zorunda kalmışlardır. Endüstri 4.0 teknolojileri ile donatılmış fabrikalara akıllı fabrika denmektedir. Çalışanların makinelerin ve bütün sistemlerin birbirleri ile iletişim içinde olduğu sistemlerdir (Şekil 9.). Akıllı Fabrikalar, hızlı ve etkin olarak yüksek karmaşıklıklara hızla çözüm getirerek pazardaki tüketicilerin istek ve gereksinimlerini en iyi şekilde karşılamaya yönelik esnek ve uygulanabilir süreçlerin işlemesine izin veren etkili Endüstri 4.0 üretim bileşenlerindendir (Nunes ve diğerleri, 2017).



Şekil 9. Akıllı Fabrikalar

https://www.freepik.com/free-vector/glass-production-isometric-illustration_14742548.htm#page=2&query=smart%20factory&position=10&from_view=search&track=locales

Akıllı fabrikalar Endüstri 4.0'ın bir çıktısı olarak görülmektedir. Akıllı fabrikalar üretim süreçlerinin ve tedarik zincirlerinin artan karmaşık üretim süreçlerini insan çalışanlar için ortadan kaldırıp, daha yönetilebilir kılan ve güncel bilgi teknolojilerini kullanarak bütün süreçlerde sistemde esneklik sağlayabilen fabrikalardır (Duman ve Kargın, 2021). Endüstri 4.0'ın getirdiği olan Akıllı Fabrikalar sistemlerdeki sensörler ile internet vasıtası ile iletişim

kurup oluşturduğu ve ihtiyacı olan verileri bulut sistemlerde depolar (Yıldız, 2018). Bundan dolayı akıllı fabrikaların ortaya çıkması ile birlikte entegre edilen yüksek teknolojlili otomasyon sistemleri ile birlikte üretim süreçlerinde hata oranları düşmüş, hız kazanmış ve üretim maliyetleri düşmüştür.

Endüstri 4.0 sürecinde ön plana çıkan akıllı fabrikalar, birbirine bağlı sistemlerle etkileşimli olarak çalışıp, içinde yer aldığı sistemlerdeki bilgi ağını etkin bir şekilde kullanarak güçlendirir, bu nedenle de yüksek verim sağlar. Geleneksel bir fabrikada son dakikada fark edilemeyen bir duruma akıllı bir fabrikada üretimde ya da her hangi bir aşamada son anda meydana gelen değişiklikler hızla fark edilebilir ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlar. Böylece sistemde esneklik sağlayarak geleneksel fabrikalarda elde edilemeyen esneklikleri destekleyerek müşterilerin taleplerini ve koşullarını hızla karşılar (Calp vd., 2018). Günümüz fabrikaları ile Endüstri 4.0'ı esas alan akıllı fabrikalar arasında belli farklılıklar yer almaktadır. Tablo 1.'de bu farklar gösterilmiştir (Lee, 2015).

Tablo 1. Günümüz fabrikaları ile akıllı fabrikalar arasındaki farklılıklar

	Veri kaynakları	Günümüz teknolojisinde geleneksel fabrikalar		Endüstri 4.0'ı esas alan Akıllı fabrikalar	
		Özellikler	Teknolojiler	Özellikler	Teknolojiler
Bileşenler	Sensör	Hassas	Akıllı sensörler ve arıza tespiti	Otomatik Alarm, Tahminleme becerileri	Arıza izleme ve yaşam süreci tahmini
Cihazlar	Kontrolör	Üretilebilirlik ve Etkinlik	Durum tabanlı izleme ve teşhis	Farkındalık Tahmin Karşılaştırma becerileri	Olası süre belirleme ve olası arıza önleme
Üretim Sistemleri	Ağ sistemleri	Verimlilik	Etkili olmayan operasyonlar: İş ve Atık azaltma	Otomatik Yapılandırma, Oto kontrollü bakım ve Oto kontrollü organizasyon becerileri	Esnek kontrol sistemleri ile güvenilir öngörü becerileri

Tablo 1.'den de görüleceği üzere, akıllı fabrikalarda mevcut durum otomatik olarak akıllı fabrika tarafından kontrol edilip anında müdahale edilmekte böylece daha etkin, verimliliği yüksek, hata payı düşük ve erken önlem alınabilir sistemler ortaya konmaktadır.

2.7. Endüstri 4.0 Sürecinde Dijitalleşme

Dijitalleşme, fiziksel sistemlerin ulaşılabilir bilgilerini sensör ve benzeri cihazlarla bilgisayar, tablet gibi teknolojik araçlar tarafından okunabilecek ve düzenlenebilecek bir şekilde dijital ortama aktarılmasına denebilir (Çalışkan, 2020). Hızla gelişen teknolojiler ile birlikte işletmelerde dijitalleşme kaçınılmaz olmuştur.

Endüstri 4.0 sürecinde dijitalleşmeyi uygulayan işletmelerin iş performansında verimlilik artmaktadır. İşletmeler dijitalleşme ile birlikte sağladıkları veriler ile operasyonlarındaki hataların hızlı bir şekilde önüne geçerek verimliliği arttırır, böylelikle piyasada rekabet gücü artar. Böylelikle müşterilere ulaşması kolaylaşır ve ticari olarak büyümesi kaçınılmaz olur.

Dijital dönüşüm ile kesintisiz ve yüksek verimlilik ile yapılan operasyonlarda daha az iş gücüne ihtiyaç duyulur böylelikle operasyon giderlerinde karlılık artar. Dijitalleşme sürecinde yazılım ve robotik otomasyonun sistemlere entegre edilmesi ile insan kaynaklı hataların da önüne geçilmiş olur. İşletme içerisindeki bütün süreçlerin dijitalleşmesi ile elde edilen verilerin izlenebilir olması ile iş süreçleri daha kolay yönetilebilir olur (Solino, 2022).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0 ETKİLEŞİMİ

3. ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0 ETKİLEŞİMİ

Endüstri 4.0 dönüşümlerinin temelinde ana hedef üretim faaliyetlerinin verimliliğin artırılması olsa da işletmede yer alan insan kaynakları, finans, lojistik gibi departmanlarında bu teknolojik dönüşümden faydalanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle dijitalleşme süreçlerinden en çok etkilenecek olan sistemler lojistik ve tedarik zinciri olmaktadır (Şekkeli ve Akan, 2018).

Akıllı fabrikaların ortaya çıktığı günümüzde lojistik süreçlerinde akıllı depo, akıllı lojistik ve lojistik süreçlerde kullanılacak akıllı sistemler karşımıza çıkmaktadır. Endüstri 4.0 bileşenleri ile donatılan lojistik sistemleri donanımlar ile birlikte ağ üzerinden haberleşebilen ve diğer sistemler ile iletişim kuran sistemler haline gelmişlerdir. Akıllı sistemler sayesinde işletme içi lojistik operasyonları ve tedarik zinciri operasyonların hakkında detaylı bilgi edinilebilmektedir (Çetinkaya, 2022). Endüstri 4.0 Lojistik 4.0'ın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Her ikisinin arasında; otomasyon, dijitalleşme, mobilite yeteneği ve ağ kullanımı ile birimler arası etkin etkileşim gibi benzerlikler yer almaktadır (Demiral, 2021).

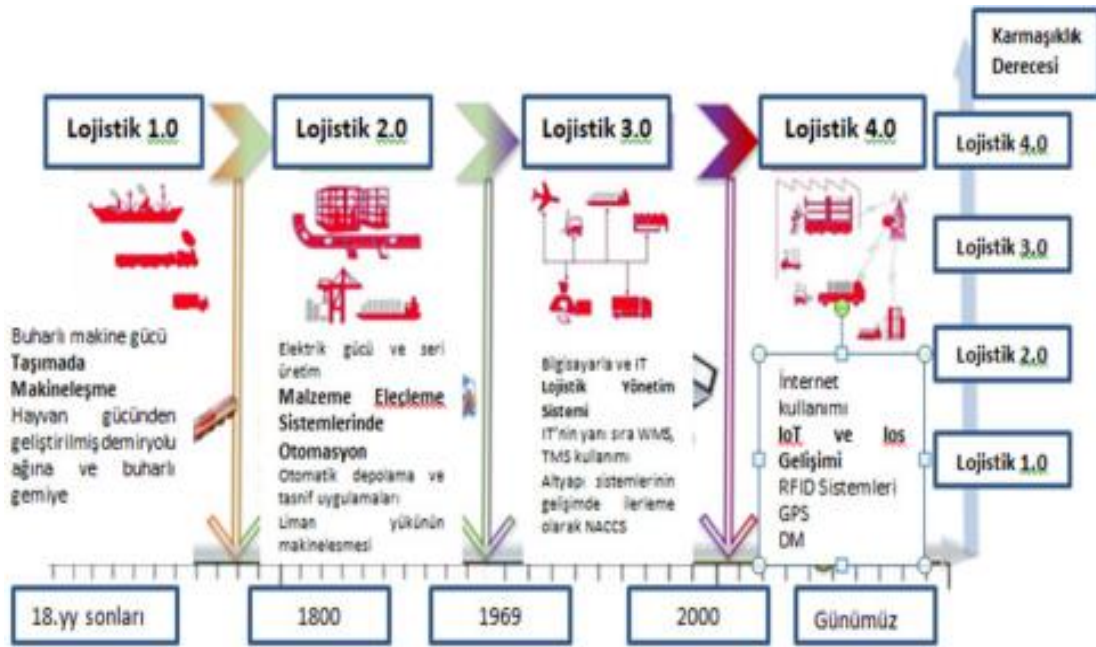
3.1. Lojistik 4.0

Giderek dijitalleşen dünya, iş süreçleri de hızla dijitalleşmektedir. İş süreçlerinin dijitalleşmesi, 1960'lı yıllarda elektronik veri alışverişini teşvik eden çalışmalarla başlamıştır. Süreç teknolojinin de hızla ilerlemesi ile zamanla daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bunda en büyük etken ise; sürekli yenilenen uygulamalar, bilgilerin değiş-tokuşunun çok hızlı olması, giderek farklı teknolojilerin birbiri ile etkileşimli hale gelip entegre olması gibi etkenlerdir (Mercimek ve Geçgil, 2021). Bütün bu gelişmeler lojistik kavramının giderek önem kazanmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Lojistik zincirinde yer alan paydaşlar arasındaki etkileşim, veri alış verişi hızı ve yöntemi, katma değeri yüksek olan hizmet tasarımı desteklemektedir. Böylece tüketicilerin istek ve gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayacak yenilikçi lojistik hizmetleri ortaya çıkmaktadır (Pérez ve Sanchez, 2019).

Dünyada hızla yayılan Endüstri 4.0 rekabetin yoğun olduğu sektörler gibi lojistik alanında da önemli bir konu haline gelmiştir (Saatçioğlu, vd., 2018). İşletmelerin lojistik süreçlerinin dijitalleşmesi sektörde rekabet edebilmeleri için önemlidir. Lojistik sektöründe hız,

müşteri odaklılık ve esneklik gibi kavramların uygulanabilir olması için otomasyona ve akıllı sistemler ile birlikte dijitalleşme süreçleri sistemlerine entegre olmak zorundadırlar (Yılmaz ve Duman, 2019).

Lojistik süreçlerinin endüstri 4.0 teknolojileri ile donatılmasına ve dijitalleşmesi Lojistik 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Akıllı hizmetler ve akıllı ürünlerle ilgili bir kavramdır (Özdemir ve Özgüner, 2018). Lojistik 4.0, üretim içerisindeki lojistik faaliyetlerinden ürünlerin veya hizmetlerin müşterilere ulaşmasına kadar olan bütün tedarik zinciri elemanlarının ve süreçlerinin bütüncül bir şekilde entegrasyonu olarak tanımlanabilir. Lojistik 4.0'ın amacı süreçler içerisindeki bütün paydaşların bilgi teknolojileri aracılığıyla iyileştirmek, verimliliği arttırmak ve esnekliği sağlamaktır (Yılmaz ve Duman, 2019) (Şekil 10.).

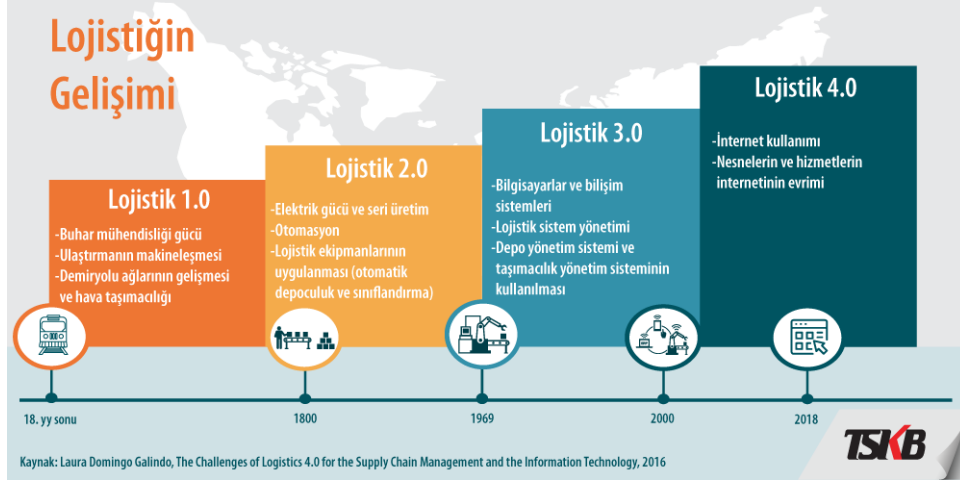


Şekil 10. Lojistik 1.0'dan Lojistik 4.0'a Gelişim Süreci (Galindo, 2016)

3.1.1. Lojistik 4.0'ın Gelişimi

Lojistik 4.0 kavramının ortaya çıkması endüstri 4.0 kavramı gibi ilk sanayi devrimi zamanlarına dayanmaktadır. Lojistik 4.0'ın ilk aşamalardan günümüze; makineleşme, elektrik enerjisinin kullanımı ve sonlara doğru bilgi teknolojilerinin de sisteme dahil edilmesinin sonucu gelişim göstermiştir (Kutlu, 2023).

Endüstri devrimlerinin tarihsel gelişimine bakıldığında üretim ile ilgili lojistik süreçlerde paralel olarak etkilenmiştir. Bundan dolayı lojistik gelişim süreçleri de endüstri gelişim süreçleri gibi dört aşamadan oluşmaktadır (Şekkel ve Bakan, 2018). Lojistiğin gelişim süreci Şekil 11.'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Lojistiğin Gelişim Süreci

<https://www.tskb.com.tr/blog/sektorler/lojistik-4.0-ile-fark-yaratmak>

Lojistik 1.0

Endüstri 1.0 devriminde buhar makinesinin icadı ile birlikte kırsal yaşam yerini sanayileşmeye bırakmıştır. Hayvan kuvveti veya insanlar yardımıyla yapılan üretim ve taşımacılık faaliyetleri yerini yavaş yavaş makinelere bırakmıştır. Endüstri 1.0 döneminde çoğunlukla lojistik faaliyetleri karayolu ile yapılmaktaydı. Buhar makinesinin icadı ile birlikte buhar makinesi ulaşım faaliyetlerinde de yerini almıştır. Böylelikle tren ve havayolu taşımacılığı da başlamıştır (Şekkeli ve Bakan, 2023).

Bu devirde üretim alanındaki ürünler ve hammaddelerin olduğu depolarda taşıma işlemi manuel yani insan gücü ile gerçekleştirilmiştir. Üretim alanından dışarıya dağıtımına çıkan ürünlerin lojistik faaliyetleri ise karayolu, deniz veya demir yolu ile yapılmaktaydı.

Lojistik 2.0

Endüstri 2.0 döneminde yaşanan teknolojik gelişmeler beraberinde birçok yeni hammadde ve enerji kaynağını kullanmayı da beraberinde getirmiştir. Makinelerin yapımında bakır alüminyum gibi yeni hammaddelerin kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca elektrik, petrol gibi enerji kaynakları üretim, lojistik ve iletişim alanlarında kullanılmaya başlamıştır.

Bu dönem içerisinde lojistik sektöründe karayolu taşımacılığı yine en önemli taşımacılık faaliyetleri arasında yer almıştır. Demiryolu ve buharlı gemi taşımacılığının kullanımı yaygınlaşmıştır. Gemilerde konteynerlerin taşımaya başlaması ise bu devirde gerçekleşen yeniliklerden bir tanesidir. Lojistik sektöründe elektrik enerjisinin kullanılmaya başlaması ile depo ve rafların modüler şekilde taşınabilmesini sağlamıştır. Depolarda yük taşımak için kullanılan insan gücü yerini motorla çalışan forklift tarzı taşıma araçlarına bırakmıştır (Şekkeli ve Bakan, 2023).

Lojistik 3.0

Endüstri 3.0 devriminde gelişen teknolojiler ile birlikte üretimde esneklik sağlayan makineler ile üretim süreçlerinde tekrarlı işleri yapan endüstriyel robotlar kullanılmaya başlamıştır. Yazılımlar ile birlikte programlanabilir makineler ve gelişen otomasyon sistemleri devreye girmiştir (Şekkeli ve Bakan, 2023).

Lojistik sektöründe yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte lojistik süreçlerinde yazılım destekli depo yönetim sistemi gibi sistemler gelişme göstermiştir. Bu yazılımlar sayesinde üretim alanlarından depolara, tedarikçilerden son tüketiciye kadar olan lojistik süreçlerinin planlanması kolaylaşmıştır. Üretim alanlarındaki iç lojistikte ise otomatik hareketli bant sistemleri, forkliftler ve robotlar kullanılmaya başlanmıştır. İç lojistikte kullanılan otonom robotlar ve diğer lojistik araçları açısından ortaya rotalama sorunları çıkmaktadır. Normalde lojistikte rotalama yaparken kuş uçuşu mesafeleri dikkate alınırken, iç lojistikte lojistik araçları dik olarak doğrusal mesafeleri kullanmaktadırlar. Bu durumda da problemler farklılaşmaktadır. Bu nedenle işletme içi gerçekleştirilecek iç lojistikte özellikle otonom robotları kullanırken, onlarla birlikte eş zamanlı kullanılan taşıma araçlarının planlaması ve rotası çok iyi yapılmalıdır (Bozkurt Keser vd., 2017).

Lojistik 4.0

Günümüzde maliyeti düşüren, üretim hacmini arttıran ve kaliteyi yükselten aynı zamanda müşteri memnuniyetini ön plana çıkartma yönünden kritik öneme sahip lojistik rekabette üstünlük sağlamak amacı ile son derece önemlidir (Alkış, vd., 2020). Endüstri 4.0 teknolojilerinden etkilenen lojistik sektörü beraberinde Lojistik 4.0 terimini ortaya çıkarmıştır. Lojistik 4.0 Pazar gereksinimlerinin belirlenmesi, üretim ve üretimden çıkan ürünlerin son kullanıcıya teslim edilmesine kadar olan bütün süreçleri Endüstri 4.0 teknolojileri ile destelenmelidir (Atay, 2022). Bundan dolayı Endüstri 4.0'ın etkisiyle sistemlere entegre olan sensörler ile ve gelişen yazılım uygulamaları sabit işlemleri olan üretim ve lojistik sistemlerini esneklemiştir. Bilgisayar teknolojisi ile donatılan bu sistemler ilerlemelere ve ihtiyaçlara uygun olarak geliştirilebilmektedir (Şekkeli ve Bakan, 2023).

Bu dönüşüm ve gelişim süreçlerinde üretim ve lojistik süreçlerinin birbirleri ile entegrasyonu gerçekleşmiştir. İşletmelerde yer alan üretim ve lojistik süreçleri hakkında insanlar ve makineler birbirleri ile iletişim halinde olabilmektedir. Bu iletişim ağı sayesinde hatalar en aza indirilmektedir. Lojistik 4.0 sürecinde sistemler gerekli entegrasyonların yapıldığı takdirde otonom bir şekilde hareket edebilmektedir. Lojistik 4.0 uygulamaları işletmelere hız, çeviklik ve verimlilik sağlar (Kutlu, 2023). Lojistik 4.0 dijitalleşmenin sonucu

olarak ortaya çıkmıştır. Lojistik 4.0'ın başarılı olmasında önemli rol oynayan temel etkenler arasında; günlük işlemlerde kullanılacak dijital sistemlerin doğru belirlenmesi ve öngörüsünün iyi yapılması, dijital olan lojistik süreçlerinden etkin ve konusunda uzman kişilerin kullanılması, etkin ve verimli bir süreç tasarımının gerçekleştirilmesi, dijital sistemin, işletmenin gelecek hedef ve beklentilerini karşılayacak etkinlikte olması gelmektedir (Lin & Jones, 2009).

3.1.2. Lojistik 4.0 Bileşenleri

İşletmeler sektörde rekabet gücünü korumak ve arttırmak için lojistik süreçlerini doğru bir şekilde yönetebilmek durumundalardır. Bunun için Lojistik 4.0'ın getirmiş olduğu etkin çözümleri sistemlerinde uygulamaları gerekmektedir. Lojistik 4.0'ın altı temel bileşeni vardır. Bunlar, örüntü tanıma, yeni işler, lojistik değerler, genelleştirme, öz-örgütlenme ve çeviklikler. Bunları kısaca açıklamak gerekirse; (Şekkeli ve Bakan, 2023).

1. Örüntü tanıma, aralarında ilişki olan veya ortak özelliklere sahip sistemlerin, yazılımlar ile tanımlanması veya sınıflandırılmasına yarayan bir teknolojidir. Örüntü tanıma teknolojisi ile lojistik sistemlerinin karmaşık yapısını da açıklamak mümkündür.

2. Yeni işler: Lojistik 4.0 sürecinde gelişen teknolojiler ile birlikte yeni hizmetler ve iş modelleriyle fırsatlara sahip olunmasını tanımlamaktadır.

3. Lojistik değer: işletmelerin lojistik süreçleri aracılığı ile pazar payının artması ve düşük maliyet yüksek karlılık amacıyla geliştirilen hizmetleri ifade etmektedir.

4. Genelleştirme: Genelleştirme kavramı lojistik sistemlerinin esneklik sağlaması amacı ile genelleştirilmesini içermektedir. Taşıma, paketleme gibi faaliyetlerin tamamını kapsamaktadır.

5. Öz-örgütlenme: Lojistik süreçlerinin teknolojik gelişmeler ile birlikte kendini örgütlenme yeteneği kazanmasını ifade etmektedir. Öz-örgütlenme özerk bir şekilde paletleme, taşıma, depolama gibi lojistik süreçlerinin tamamında uygulanabilmektedir.

6. Çeviklik: Lojistik süreçlerinde çeviklik bileşenleri arasında stratejik bir öneme sahiptir. Lojistik yönetiminde çeviklik üretim ve tedarik süreçlerinde lojistik faaliyetleri sırasında değişen şart ve ihtiyaçlara göre hızlı bir şekilde hareket etmek anlamına gelmektedir.

3.2. Lojistik Sektöründe Dijitalleşme

Endüstri 4.0 ile başlayan dijitalleşme süreci işletmelerin bütün operasyonlarını etkilemeye başlamıştır. Dijital teknolojilerin kullanımı işletmelerde yürütülen faaliyetler

üzerinde verimlilik, tasarruf ve hız gibi faydaları ortaya çıkmıştır (Bilgiç, vd., 2020). Lojistik faaliyetlerinde esnekliğin sağlanması ve karmaşıklığın giderilmesi amacı ile lojistik sektöründe otomasyon ve yapay zekâya verilen önem giderek artmaktadır. Lojistik faaliyetlerinde kullanılan robotik sistemlerde hata payları neredeyse sıfır düzeyine indirilmiştir (Çelik, vd., 2020).

Lojistik sektöründeki dijitalleşme ile birlikte akıllı lojistik kavramı ortaya çıkmıştır. Akıllı lojistik üç farklı açıdan incelenebilir. Bunlar; Yönetim, Malzeme Akışı ve Bilgi Akışı olarak sıralanabilir (Karlı ve Tanyaş, 2020).

1. Yönetim: Lojistik alanında yönetim, dijitalleşme ile birlikte süreçlerin daha esnek olması ve yönetim anlayışındaki yenilikleri ifade etmektedir.

2. Malzeme Akışı: Lojistik alanında kritik bir öneme sahip olan malzeme akışı işletmelerin içindeki iç lojistiği ifade eder. Dijitalleşme ile birlikte depolarda ve üretim alanlarındaki lojistik operasyonlarında robotlar kullanılmaktadır. Böylelikle operasyonel süreçler iyileşmekte ve hata oranları en aza inmektedir.

3. Bilgi Akışı: Endüstri 4.0 ile gelen teknolojiler lojistik alanındada değişime yol açmıştır. Lojistik alanındaki bilgi akışı gelişen teknolojiler ile birlikte, depo yönetim sistemi, konum takibi gibi sistemlerin kullanılabilir olmasını sağlamıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

LOJİSTİK 4.0 SÜRECİNDE LOJİSTİK ROBOT KULLANIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİ

4. LOJİSTİK 4.0 SÜRECİNDE LOJİSTİK ROBOT KULLANIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Endüstri 4.0'ın temel amacı, iletişim, bilgi ve teknoloji yoluyla işletmelerdeki üretim ve lojistik süreçlerinin esnekliğini ve verimliliğini artırarak küresel rekabet güçlerini geliştirmektedir (Gabriel ve Pessl, 2016). Ancak, günümüzde Endüstri 4.0, sürdürülebilirliğe uyum sağlamak için çevresel kısıtlamalar içinde üretim gerekliliği ile de karşı karşıyadır. Bu durumlar; dijital teknolojilerin maruz kaldığı temel çevresel baskı, enerji talebindeki artış eğilimi ve düşük karbonlu enerji sistemlerini benimsemenin acil gerekliliği ile ilgilidir (Wang et al., 2016). Bu kapsamda lojistik faaliyetlerinde kullanılan teknolojik gelişmeler beraberinde Lojistik 4.0'ı getirmiştir. İşletmelerde lojistik süreçlerinin dijitalleşmesi, üretim alanlarında ve depolardaki lojistik faaliyetleri inovatif bir yaklaşım ile verimli ve esnek olmuştur.

Lojistik 4.0 sürecinde yüksek otomasyon ve akıllı makineler kullanarak lojistik faaliyetlerinin kontrol edilebilir ve sürdürülebilir, standardize edilmiş, iş birliği, yüksek performanslı, kesintisiz, hassas ve esnek olması amaçlanmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı birçok konuda olduğu gibi lojistik alanında da yaygınlaşan bir terim olmuştur (Alım ve Ercan, 2022). Yüksek verimlilik ile süreçlerin dijitalleşmesi beraberinde sürdürülebilir üretim ve tedarik zinciri operasyonlarını getirmiştir.

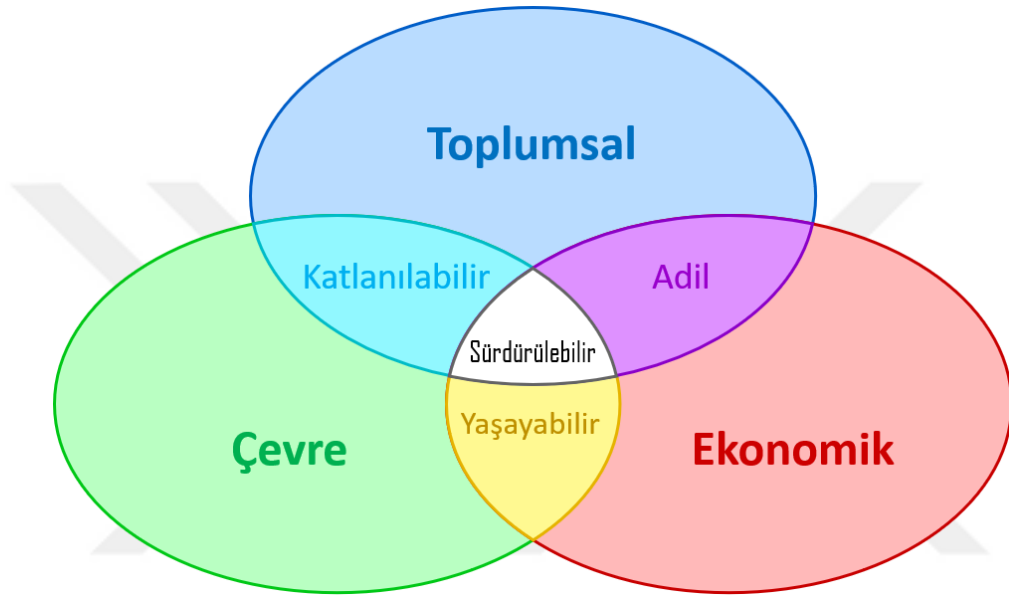
4.1. Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik günümüzde bütün dünyada tartışılan ve ortak bir payda olan bir kavramdır. Sosyal ve çevresel birçok alanda karşılığı olmasına rağmen çoğunlukla iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, aşırı yoksulluk ve benzeri sorunları çözmek için bir çözüm üretme niteliği taşımaktadır (Yücel, 2016). Ayrıca sürdürülebilirlik ekonomik, sosyal ve çevresel konuları da kapsamaktadır (Hazelton & Haigh, 2010). Resmi olarak sürdürülebilirlik kavramını ilk kez tanımlayan otorite Birleşmiş Milletler komisyonudur.

Sürdürülebilirliğin kısaca tanımı, “çevresel ve sosyal koşulların insan türünün güvenliği, refahı ve sağlığını destekleyebilmesi şansını maksimize edebilmek için, yaşam tarzımızı dönüştürmek” olarak yapılabilir (McMichael, Butler ve Folke, 2003).

4.1.1. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, insan yaşamını, faaliyetlerini ve ekosistemini desteklemek amacıyla kişisel ve toplumsal ihtiyaçların karşısında doğanın kapasitesi içerisinde denge bulunmasının desteklenmesi olarak tanımlanabilir (Choi ve Ng, 2011). Sürdürülebilirliğin üç boyutu vardır. Bunlar; ekonomik sürdürülebilirlik, sosyal sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirliktir (Gedik, 2020). Şekil 12.'de Sürdürülebilir koşullar verilmiştir.



Şekil 12. Sürdürülebilir koşullar

https://tr.wikipedia.org/wiki/Sosyal_s%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik

4.1.1.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik, kişiler üzerinde yaratılan kazanç baskısı, borç yükü ve iş-yaşam dengesinin oluşturmuş olduğu ekonomik ve finansal unsurlar açısından oluşan tüketimin, toplumun ekonomik refahı ve düzeni üzerindeki etkisi ile ilgilidir (Özenir ve Nakıboğlu, 2019).

Sürdürülebilir ekonomi, kaynak kullanımının ve çevresel zararın en az miktarda olduğu zaman ile yüksek miktarda genel refahın sağlandığı ideal denge halidir. Ekonomik olarak gerçek anlamda sürdürülebilir olmak için, doğal kaynak tüketiminin, doğadaki yenilenebilir kaynak ihtiyacından az olmalıdır (Gedik, 2020).

4.1.1.2. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların tüketiminden kaynaklanan çevresel değişimin, canlıların sağlığı ve refahı üzerindeki etkisini ifade etmektedir (Sheth, vd., 2011). Çevresel sürdürülebilirlik, sürdürülebilirlik kavramının en önemli bileşenidir. Yaşanılan çevre bütün canlılar için en önemli paydaştır. Yaşadığımız çevreye bağımlılığımız sebebiyle yaptığımız faaliyetler çevreyi iyi veya kötü bir şekilde etkilemektedir (Gedik, 2020).

Çevresel sürdürülebilirlik, yaşanılan ekosistemi ön planda tutarak insanların ihtiyaçlarını karşılamaktır (Morelli, 2011). Çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için benimsenmesi gereken temel ilkeler şu şekilde sıralanabilir (Moldan, vd., 2012):

1. Ekosistemlerin bütünlüğünü korumak için doğal kaynakları verimli kullanma
2. Çevresel geri dönüşleri göz önüne alarak karar alma
3. Küresel olarak çevresel bağlılığı geliştirme
4. Geri dönüşüme dikkat etme
5. Tehlikeli ve çevreye zarar veren maddelerin yerine yenilenebilir kaynakları kullanma
6. Çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı için uzun vadeli planları ortaya koyma
7. Doğaya saygı gösterme ve biyolojik çeşitliği koruma

4.1.1.3. Sosyal Sürdürülebilirlik

Sosyal sürdürülebilirlik kişilerin, ailenin ve toplumun refahını yaşam kalitesini eşitlik, güvenlik, sağlık, kültürel kimlik, eğitim gibi başlıklar altında incelenmesini ifade eder (Sheth, vd., 2011). Sosyal sürdürülebilirlik aşağıda yer alan ilkeleri içerir (Morelli, 2011):

1. Hizmetlere erişim
2. Kuşaklar arası eşitlik
3. Farklı kültürlere saygı duyma
4. Vatandaşların siyasi katılımı
5. Topluluk oluşturma duygusu
6. Toplumun yerel düzeyde ihtiyaçlarının karşılanması için sistemler

Sosyal sürdürülebilirlik kavramı, toplumsal değerlerin, sosyal ilişkilerin, sosyal kimliklerin ve kurumların ileriye dönük ne kadar devam edebileceği olarak tanımlanabilir. Sosyal sürdürülebilirlik, toplumsal bütünlüğün ve toplumun ortak hedeflerine yönelik çalışmaların yapılmasını ve bunların korunmasının gerekliliğini temsil eder (Gedik, 2020).

4.1.2. Kurumsal Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik kavramını genel anlamı ile üretkenlik ve çeşitliliğin devamıyla sürekli var olabilme yeteneğini olarak tanımlamak mümkündür (Tüyen, 2019). Sürdürülebilirlik ile ilgili ilişkili kavramlardan bir tanesi de kurumsal sürdürülebilirlik kavramıdır. Günümüzde işletmelerin çevre ve toplumsal sorumluluk unsurları göz önünde bulundurulduğunda işletmelerin sürdürülebilirliği önem kazanmıştır. Pazarlama unsurları ve müşteri beklentilerinin değişmesi işletmelerin strateji ve uygulamalarında kurumsal sürdürülebilirliği önemli bir parçası haline getirmiştir (Başaran, 2011).

Kurumsal sürdürülebilirlik kavramı işletmeleri, ekosistemin bir parçası olduklarını kabul ederek üretim ve bütün faaliyetlerinde kaynakları etkin ve verimli kullanılması ve aynı zamanda geri dönüşüm konusunda gerekli önlemleri almaya itmiştir (Erol ve Özmen, 2008).

Sürdürülebilirlik farklı boyutlarla ve işletmeler açısından ele alındığında sürdürülebilir üretim kavramı ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir üretim, yeşil tasarım prensibi, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı ve üretim süreçlerinin optimizasyonu ile kaynak verimliliği arttırmaya çalışan ve çevreye zararlı enerji kullanmayarak emisyonu azaltan üretim sistemlerini geliştirmek olarak ifade edilebilir (Özenir ve Nakıboğlu, 2019). İşletmelerin sürdürülebilir üretim sağlayabilmeleri için lojistik, üretim, tedarik zinciri operasyonları gibi süreçleri optimize etmeleri gerekmektedir.

4.2. Teknolojik Gelişmelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi

Endüstri 4.0'ın getirdiği teknolojik gelişmeler işletmelerde birçok alanda etkisini göstermiştir. Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik kavramı birlikte ele alındığında verimliliğin artması ve sürdürülebilir üretimin iyileştirilmesinin teknolojik gelişmeler yardımıyla yapılmasını anlatır (Bai, vd., 2020). Üretim alanlarındaki sürdürülebilirlik için bütün faaliyetlerin çevreye duyarlı tasarım, geri dönüşebilir malzeme seçimi ve daha az hammadde kullanımı, üretim yöntemlerinin ve dağıtım ağlarının optimizasyonu ve üretilen ürünlerin optimizasyonunun sağlanması gerekmektedir (Özenir ve Nakıboğlu, 2019).

Endüstri 4.0 ile gelişen teknolojiler günümüzde işletmelerin süreçlerinin sürdürülebilirliği sağlamak için kullanıldığı görülmektedir (Brito, vd., 2019). Endüstri 4.0 kavramının ve teknolojilerinin sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir üretime etkisi yadsınamazdır. Nesnelerin interneti teknolojisi ile sensörler kullanarak makineler üzerindeki çalışma verimliliği ve enerji tüketimleri verileri elde edilebilmektedir. Elde edilen veriler incelenerek üretimin optimizasyonu sağlanabilir. Teknolojilerin üretim sistemlerine dahil edilmesi ile israfı önleyici önlemler alınabilir ve sürdürülebilir üretim uygulanabilir (Özenir ve Nakıboğlu, 2019).

Endüstri 4.0 teknolojilerini işletmeler, üretim dışında lojistik faaliyetlerinde de otomasyon, depo yönetimi ve elektrik ile çalışan akıllı taşıma sistemleri süreçlerine dahil edebilirler. Böylece üretimde de tedarik zinciri operasyonlarında verimliliklerini arttırırlar, insan kaynaklı hatalar en aza inmiş olur ve çevresel boyutuna katkıda da bulunarak karbon emisyonu ve hava kirliliğini azaltmak gibi faydalar sağlanabilir (Barreto vd, 2017).

Yaşanan teknolojik gelişmeler ışığında işletmeler, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti, ileri robotik sistemleri gibi endüstri 4.0 bileşenlerini kullanarak oluşturduğu yeni sistemler insan çalışanlar, sensörlerle donatılmış makineler ve robotların iş birliği ile daha hızlı, daha esnek üretimlere sahip olabilmektedirler. Bu bağlamda yaşanan teknolojik gelişmelerin sürdürülebilirlik kavramının üzerinde doğrudan etkisi olduğu görülmektedir (Toker, 2018).

4.3. İşletmelerde Lojistik Robot Kullanımı ve Sürdürülebilirliğe Etkisi

Endüstri 4.0 teknolojileri işletmelerin bütün süreçlerinde enerji, malzeme gibi kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu teknolojiler iler üretim alanlarındaki akıllı üretim sistemleri ile ekipman, hammadde, makine, ürünler ve lojistik gibi süreçler birbirleri ile sürekli etkileşim içerisinde olacaklardır. Bu sayede sistemler kendi kararlarını alarak daha çevreye duyarlı ve verimli sonuçlar doğuracaktır (Toker, 2018). Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulamaları yeteri miktarda üretimin yapılmasını, talebe uygun tasarımın yapılmasını, gereksiz malzeme taşınmasını engelleme ve kaynakların kontrollü kullanımı gibi işletmelere faydaları olaraktır. Üretim hattında ve tedarik süreçlerinde robotların kullanılması bu faaliyetlerde hata yapılma olasılığını, otonom taşıma araçlarının kullanılmasının da ürünlerin hasar görme ve üretim kayıplarını en aza indirir (Braccini ve Margherita, 2019).

Otonom lojistik robotları nesnelerin interneti gibi teknolojileri içerisinde barındırmaktadır. Robotlar üretim ortamlarında dolaşarak siber-fiziksel sistemler oluşturur böylelikle üretim süreçlerinde insan kaynaklı hatalar en aza inerek yüksek kalitede ürünler üretilir. Bunun sonucu olarak ise otonom lojistik robotlarının kullanılması sürdürülebilirliğin ekonomik boyutuna katkı sağlamış olur (Afolalu vd., 2021).

Yüksek verimlilik ve tam kapasite ile durmadan çalışan otonom lojistik robotlarının üretim ve tedarik zinciri operasyonları için kullanılması enerji ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır. Müşteri gereksinimlerininse hızla karşılanmasını sağlamaktadır. Böylelikle otonom lojistik robotlarının işletmelerde kullanımı hem çevresel hem de ekonomik boyuta katkı sağlar (Indoria vd., 2021).

Robotların işletmelerde kullanılması operasyonel faaliyetlerin optimizasyonunu ve standartlaşmasını sağlaması, işçilik ve bakım maliyetlerinin azaltılması ve kaza risklerinin en düşük seviyeye inmesiyle tesislerin daha güvenli çalışma ortamı sağlaması sebepleriyle, robotların işletmelerde kullanımı sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutuna etki edildiğini söylenebilir (Okwu vd., 2021).

Otonom lojistik robotlarının özerk hareket etmelerinden dolayı karar verme süreçlerinin iyileşmesine katkıda bulunur. Otonom lojistik robotları elektrik enerjisi ile çalışan akıllı taşıma sistemleridir. Bundan dolayı üretim ve depo alanlarında taşıma işlemi esnasında düşük sera gazı emisyonu ve daha az çevre kirliliği yaratır. Bu durum ise lojistik robotlarının direk olarak çevresel sürdürülebilirliğe katkılarının olduğunu göstergesidir (Rose vd., 2021).

Lojistik robotlarının işçilik maliyetlerini azaltması ve insan işçilerin daha üretken görevlerde yer alması uzun vadede ekonomik fırsatların doğmasına sebep olmaktadır. Böylelikle direkt işletmelerde lojistik robotlarının kullanılması ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Sparrow & Howard, 2021).

4.3.1. Lojistik Robotları

Üretime entegre edilen her teknolojinin amacı verimliliği arttırmaktır. Endüstri 4.0 ile birlikte işletmelerin süreçlerinde etkili olan teknolojiler üretim, depo yönetimi, lojistik faaliyetlerinin tamamını kapsayan bir ekosistem oluşturur. Bu sayede akıllı makineler ve akıllı ürünler birbirleri ile entegre bir şekilde çalışarak dijitalleşme ile birlikte verimliliği artırır. Bunu fark eden işletmeler lojistik süreçlerini dijitalleştirmeye başlamışlardır. Dijitalleşme ile birlikte işletmeler günümüz küresel pazarına çok daha kolay adapte olmaktadır (Aylak, vd., 2020). İşletmeler iç lojistik süreçlerinin dijitalleşmesi için otonom lojistik robotlarını aktif bir şekilde kullanmaktadır. Endüstri 4.0 bileşenleri arasında yer alan otonom robotlar üretim ve tedarik zincirinin bir parçası olan üretim ve depo alanlarının lojistiği özerkleştirme ile üretkenlik ve verimliliği arttırmada büyük önem taşırlar. Lojistik robotları ayrıca işletmelerde süreçlerin optimizasyonunu ve şeffaflığını da sağlar (Bilgiç, vd., 2020). İşletmelerde otonom mobil robotlarının iç lojistikte malzeme, parça taşımasında kullanımı üretimin devamlılığına katkı sağlar (Bozkurt, vd., 2018).

Lojistik robotları, insan müdahalesine ve etkileşimine gerek duymadan görevlerini gerçekleştirebilmektedirler. Otonom lojistik robotları, insanların yapamayacağı veya yapmak istemeyeceği sıkıcı, tekrarlayan veya tehlikeli işleri yapabilir. Aynı zamanda insan çalışanlardan daha hızlı olarak test edebilir, seçebilir, paketleyebilir, sıralayabilir, kurabilir, denetleyebilir veya taşıyabilir (Fitzgerald ve Quasney, 2017). Robotlar işletmeler içerisinde

taşıma, depolama, etiketleme, paketleme gibi lojistik süreçlerde görev alabilir.

Lojistik robotları geçmişte AGVs (Automated Guided Vehicles) yani otomatik yönlendirmeli araç olarak adlandırılmaktadır. Fakat günümüzde AGV'ler yerini AMR'lere bırakmıştır (Vivaldini et al., 2015). AMRs (Autonom Mobile Robot) Otonom Mobil Robot olarak adlandırılmaktadır. AMR'ler içlerinde yapay zekayı da barındırarak işletme içerisinde insandan bağımsız hareket edebilen, koordinatlarla otomatik olarak yönünü bulabilen otonom mobil robotlar iç lojistikte güçlü bir yer edinmeye başlamışlardır (Zhong, vd., 2017).

4.3.2. Lojistik Robotlarının Özellikleri

İşletmelerin lojistik faaliyetlerinde kullanılan lojistik robotları içerisinde yer alan donanım ve yazılım ile üretim alanının altyapısında değişikliğe ihtiyaç duymadan üretim ve depolama alanlarına kolayca dahil olabilir. Robotların tasarımlarında yer alan lazer sensörler, 3 boyutlu kameralar, acil durum butonları gibi güvenlik donanımlar sayesinde çalışma alanları için güvenli bir ortam oluşturur.

Lojistik robotlarının iki farklı türü vardır:

a. Çatallı olarak adlandırılan araçlar: Forklift/transpalet yerine geçen paletleri yerden veya belirli bir istasyondan alıp, yine yere veya belirli bir yükseklikteki depo raflarına veya istasyona bırakan tipteki araçlar.

b. Yüğü gövdesinin üzerine alan tipteki araçlar: Yükleri konveyör ve bant sistemleri üzerinden alıp yine konveyör ve bant sistemleri üzerine bırakabileceği gibi farklı bir istasyon veya depo raflarına bırakabilmektedir.

Otonom lojistik robotları, yapısında bulunan LiDAR tarayıcıları ve sensörler aracılığı ile çevresindeki insanları ve diğer nesneleri, ortam aydınlatmasının yetersiz olduğu durumlarda bile algılayabilir. Robotların depo veya dağıtım merkezi içerisinde yönünü bulabilmesi için, tesis haritasının ayrıntılı şekilde oluşturulması gerekmektedir. İçerisinde yer alan yazılımlar ve sahip olduğu donanımlar ile birlikte oluşturulan harita, tesisin kontrol sistemine yüklenir.

Robotlar kontrol sistemi ile entegre olarak çalıştığından tesis haritası Lojistik robotlarına aktarılır bu durumda robotlar tesis içerisinde kolaylıkla hareket eder. İçerisinde yer alan filo yönetimi yazılımı sayesinde aynı işletmede birden fazla robot kullanılabilir. Filo yönetim yazılımları, robotlar arasındaki iletişimi sağlar (Doğan, 2020).

Lojistik robotlarının işletmelerde çalışması için İSG kurallarına uygun olarak hareket etmesi gerekmektedir. Lojistik robotlarının uymasının zorunlu olduğu birçok standart mevcuttur. Bunların çoğu iş güvenliğini sağlamak amacıyla. Robotların uymasının zorunlu

olduğu standartlar, acil durdurma fonksiyonu, engel ve çalışan tespitini sağlayan sensörler, aşırı hız algılama sistemi, sesli uyarı sistemleri, uyarı lambalarını kapsamaktadır.

4.3.3. İşletmelerde Lojistik Robotlarının Kullanımı

Günümüz teknolojileri ile birlikte işletmelerin üretim ve depo alanlarında kullanılan lojistik robotları süreçlerin, insan ihtiyacı olmadan süreç içerisinde yer alan diğer makine ve insanlarla haberleşerek tamamen özerk bir şekilde tamamlanmasını sağlar.

Üretim ve depo alanında dijitalleşme ile birlikte robotik teknolojiler yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve süreçleri daha verimli hale getirmişlerdir. Depolarda ve üretim hatlarında malzeme taşınması gibi işler zamanla insan operatörlerden lojistik robotlarına geçmiştir. Bağımsız olarak gezinebilen ve çalışanlara yardımcı olan otonom mobil robotlar nesnelerin alınması, yerleştirilmesi ve sıralanması gibi görevleri kolaylıkla yerine getirebilir. Sensörler ve yazılımlarla geliştirilen robotlar yüksek doğruluk ve tutarlılık oranları ile çalışır. Böylelikle hata ve kazalar azalır (İntel, 2022).

Sensör teknolojileri ile donatılan robotlar çevrelerini çok daha iyi bir şekilde algılayabilmektedirler ve farklı birçok görevi bu sayede yerine getirebilmektedirler. Ayrıca bulut bilişim teknolojisini içerisinde barındıran robotlar kolaylıkla birbirleri ile ve insan çalışanlar ile etkileşim halindedir. Bundan dolayı insan-makine işbirliği üst düzeydedir (Asar ve Esen, 2021).

Lojistik robotları görev aldıkları işletmelere enerji tasarrufu, kaynak ve malzemelerin verimli bir şekilde kullanılması ve üretim sürecinde oluşan atıkların en az seviyeye indirilmesi, işçilik maliyetlerinin azaltılması, üretkenliğin artırılması gibi avantajlarda sunmaktadır (Indoria vd., 2021).

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan küresel rekabet ortamında işletmeler rekabet edebilmek ve pazara yön verebilmek için üretim ve tedarik zincirinde daha kaliteli, daha esnek, daha hızlı olmak için sürekli teknolojilerini geliştirmek zorundadırlar. Lojistik robotları, daha standart, hatasız ve verimli olarak çalıştıkları için rekabet, verimlilik, maliyet, güvenlik ve başka konularda avantaj sağlar. İşletmede üretim, depolar veya kullanıldıkları alanların doğal özelliklerine göre hareket ederek verimliliği artırırken, olası risk ve hataları da ortadan kaldırırlar.

Depolarda ve üretim süreçlerinde kullanılan lojistik robotları süreçleri otomatikleştirirken işletmelere birçok fayda sağlar.

1. Daha yüksek verimlilik ve üretkenlik: Lojistik robotları karmaşık ve tekrar eden işleri dinlenme veya mola verme ihtiyacı olmadan sürekli olarak gerçekleştirir.

2. Artırılmış ürün kalitesi: Robotlar sahip oldukları kamera ve sensörler ile son derece yüksek hassasiyet ile çalışmaktadırlar. Bundan dolayı ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesine destek olurlar.

3. İşçi güvenliği ve iş yeri ergonomisi: Tehlikeli ortamlarda, sürekli tekrar eden ve zorlu hareketler içeren durumlar için robot kullanan işletmeler işçilerini güvende tutarak güvenli çalışma ortamı oluştururlar.

4. Maliyet tasarrufu: Robotların kullanımı verimlilik, kalite kontrolü, atık miktarının azaltılması ve kesintisiz üretim ile işletmeler maliyet tasarrufu sağlar.

5. Azaltılmış atık: Lojistik robotları hassas görevleri düşük tolerans değerleri ile birlikte gerçekleştirebilmektedirler. Bu da kusurların, ıskarta parçaların, düzeltme ihtiyacının ve nihayetinde de atık miktarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

6. Daha hızlı döngü süreleri: İşletmelerin operasyonlarına robotları entegre etmesiyle birlikte üretim döngüsü süreleri azalmaktadır. Çalışma hızları, mola vermeden bütün vardiyalarda aktif çalışması sebebiyle döngü süreleri optimize edilmiş olur.

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

5. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Endüstri 4.0'ın giderek yaygınlaştığı işletmelerde kullanılan teknolojiler ile birlikte süreçlerin verimliliği de artmıştır. Dijitalleşmeye önem veren ve küresel pazarda rekabet etmek isteyen işletmeler üretim ve depo yönetim süreçlerine lojistik robotlarını entegre etmişlerdir. Endüstri 4.0 süreci ile birlikte tedarik zincirlerinde lojistik robotlarını kendi sistemlerine entegre eden işletmelerin vaka analizleri incelendiğinde rekabet güçlerinin arttığı görülmektedir (MIR, 2023). Bunların yanı sıra, günümüz küresel pazarı, tüketicilerin tüketim alışkanlıkları ve tüketim oranları ile dijitalleşme süreci dikkate alındığında kaynakların giderek tükendiği bu nedenle de bütün sektörlerde sürdürülebilirlik kavramının önem kazandığı görülmektedir. Bu kapsamda bütün sektörlerdeki işletmeler, maliyetlerini azaltmak, çevreye olumsuz etki eden her türlü üretim, lojistik, tedarik, araştırma vb eylemlerinin çevresel etkilerini azaltmak ve rekabet güçlerini arttırmak için sürdürülebilirlik çalışmalarına daha fazla önem vermektedirler. Sürdürülebilirliğin temeli, markaların düşük enerji ve su tüketimi ile çevre dostu üretim ve çalışma yapmasıdır. Bütün sektörlerde sürdürülebilirliğin etkinliği, tedarik zincirinin bütün aşamalarında sürdürülebilirliğin sağlanması ile mümkündür.

Yapılan tez çalışmasında; öncelikle nitel analiz yöntemlerinde doküman analizine göre araştırma yapılmıştır. Bu amaçla ikincil kaynak olarak telif haklarının ihlaline neden olmamak adına kamu erişimine açık olan dokümanlar arasından, literatür taraması şeklinde akademik çalışmalar ile işletmelerin web siteleri ve işletmelerin vaka analizleri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada; işletmelerde lojistik robotlarının kullanımının işletmelerin sürdürülebilirliğe katkılarını incelemek amacıyla nitel bir araştırma yöntemi olan doküman analizi yapılmıştır. Araştırmanın amacı; işletmelerin küresel markaların sürdürülebilirlik çalışmalarını incelemek ve konuyla ilgili önerilerde bulunmaktır. Doküman analizi için endüstri 4.0, lojistik robotları, sürdürülebilirlik anahtar kelimeleri ile yapılan araştırmalar incelenmiştir. Araştırmanın amacı lojistik robotlarının endüstri 4.0 sürecinde dijitalleşme ile birlikte işletmelerde kullanımının sürdürülebilirliğe etkisinin incelenmesi ve konu ile ilgili öneriler sunulmasıdır. Doküman analizinde ayrıca lojistik robotlarını kullanan işletmelerde lojistik robotlarının kullanım alanları, kullanım şekilleri, kullanım yoğunlukları ve kullanım ortamları gibi etkenler incelenmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi bu amaçla yapılan tez çalışmasında nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Nitel araştırma yöntemi olarak öncelikle yapılandırılmamış görüşme tekniğinin kullanılması planlanmıştır. Ancak, ulaşılan işletmelerin veri gizliliği çekinceleri ve işletmelerin mavi yakalı çalışanlarının lojistik robotlarına karşı olumsuz tutumları sebebiyle yapılandırılmamış görüşme tekniği uygulanamamıştır. Bu nedenle de çalışmada zorunlu olarak yine nitel analiz yöntemlerinden olan doküman analizi uygulanmıştır.

Doküman analizi, bir değerlendirme konusu etrafında ses ve anlam vermek için dokümanların araştırmacı tarafından yorumlandığı bir nitel araştırma biçimidir. Belgelerin analizi, odak grup veya görüşme transkriptlerinin analiz edilmesine benzer şekilde içeriğin temalara göre kodlanmasını içerir. Doküman analizinde, belgeleri analiz etmek, araştırmacıların birincil kaynakları veya konuyla kişisel deneyimleri olan kişilerin orijinal anlatımlarını anlamasına ve kategorize etmesine yardımcı olmaktadır. Araştırmacılar, araştırmalarını geliştirirken, iddialarını desteklemek için fikir ve kanıt toplamak için yerleşik kaynakları kullanırlar.

Doküman analizi süreci; elektronik ve fiziksel belgeleri yorumlama, anlamlarını anlama ve elde edilen bilgilere göre geliştirmek için değerlendirmeyi içermektedir. Bu süreç, araştırmacıların, içerdikleri bilgilerin çalışmalarına fayda sağlayıp sağlamayacağını belirlemek için kullandıkları belgelerin kalitesini ve amacını değerlendirmelerine olanak tanır. Bu süreç hakkında daha fazla bilgi edinmek, kaynakların daha iyi organize edilmesine ve daha etkili araştırma yapılmasına yardımcı olabilir. Araştırmacılar araştırmalarında üç ana belge türü kullanmaktadırlar:

a. Kamu kayıtları; bir kuruluşun, genellikle bir devlet kurumunun veya eğitim kurumunun faaliyetlerinin herkesin erişebileceği resmi kayıtları ifade etmektedir. El kitapları, nüfus sayımı bilgileri, doğum ve ölüm kayıtları ve mahkeme kayıtları örnek olarak verilebilir.

b. Kişisel belgeler; bir bireyin kendi deneyimlerinin anlatımlarına atıfta bulunmayı içermektedir. Örnek olarak; günlükler, dergiler, e-postalar, bloglar ve sosyal medya gönderileri verilebilir.

c. Fiziksel kanıt; araştırma ortamında bulunan nesneleri içermektedir. Örnek olarak; el ilanları, posterler ve eğitim materyalleri verilebilir.

Tez çalışmasında nitel araştırma yönteminde doküman analizi olarak vaka analiz çalışmaları incelenmiştir. Doküman analizinde işletmelerin vaka analizleri incelenirken, bütün dünyadan dünya çapında otonom mobil robot üreticisi olan işletmeler örnek olarak seçilmiştir. Bu nitel araştırmanın tercih edilmesindeki sebep işletmelerde kullanılan lojistik robotlarının

işletmelerdeki kullanımının yakından incelenmek istenmesidir. Doküman analizi ile tedarik zincirlerinde otonom robotları kullanan firmalarının çalışmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Doküman analizi için sektörde sürdürülebilirlik çalışmalarına önem veren işletmeler arasından tedarik zincirlerinde otonom robotları kullanan işletmeler incelenmiştir.

Nitel araştırmalar görüş ve deneyim açısından detaylı incelemeyi gerektirir. Nitel araştırmalar tutum, davranış, görüş ve deneyimleri detaylı bir şekilde inceler. Elde ettiği bulguları yorumlar ve açıklar. Derinlemesine inceleme fırsatı sunar. Nitel araştırmalarda ölçülebilir değerler yerine konuyu anlamak için "neden, nasıl, neden" gibi sorulara yanıt aranır. Sonuç olarak kalitenin artırılmasına yönelik önerilerde bulunmaktadır. Nitel araştırmalarda çalışmalarda kullanılacak veriler görüşme, gözlem, veya dokümanlar yoluyla toplanarak elde edilen veriler yorumlanır ve değerlendirilir (Berg&Lune, 2019).

Araştırmanın gerçekleştirilebilmesi için belirlenen anahtar kelimeler ile doküman analizi ve işletmelerde kullanılan lojistik robotlarının vaka analizleri incelenmiş ve elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

ALTINCI BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan bu çalışmada doküman analizi yöntemi ile elde edilen ve incelenen araştırmalarda elde edilen bulgulara göre; günümüzde gelişen teknoloji ve artan rekabet ile işletmeler pazara yön verebilmek ve rekabet güçlerini arttırmak için üretim ve tedarik zincirlerinde endüstri 4.0 uygulamalarını hayata geçirmektedirler. Böylelikle daha hızlı, daha esnek ve daha kaliteli üretim yapmaktadırlar.

Endüstri 4.0 uygulamaları içerisinde olan lojistik robotları ile süreçler otomatikleşirken verimlilik, maliyet ve güvenlik gibi birçok alanda işletmelere avantaj sağlamaktadır. Sensörler ve yazılımlarla geliştirilen robotlar yüksek doğruluk ve tutarlılık oranları ile çalışır. Böylelikle hata ve kazalar azalır (İntel, 2022). İşletmelerde kullanılan lojistik robotları üretim, depolar veya kullanıldıkları alanların doğal özelliklerine göre hareket ederek verimliliği artırırken, olası risk ve hataları da ortadan kaldırırlar. Lojistik robotları görev aldıkları işletmelere enerji tasarrufu, kaynak ve malzemelerin verimli bir şekilde kullanılması ve üretim sürecinde oluşan atıkların en az seviyeye indirilmesi, işçilik maliyetlerinin azaltması, üretkenliğin artırılması gibi avantajlarda sunmaktadır (Indoria vd., 2021).

Tez çalışmasında küresel pazarda yer alan otonom mobil robot üreticileri ve otonom mobil robot kullanan firmalar doküman analizi ile incelenmiş ve küresel pazarda otonom mobil robotlarının kullanımı ile ilgili SWOT Analizi gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklarda gösterilen SWOT analizlerine göre; otonom mobil robot firmalarının pazarda güçlü yanları müşteriler için itibarlı konuma gelmesi iken, zayıf yanları, donanımı sürekli güncellemeleri gerektiği için bu konuda yaşadıkları güçlüklerdir (Girija vd, 2021). Çalışmada elde edilen bulgular böylece konu ile ilgili başka kaynaklar ile de karşılaştırılarak desteklenmiştir.

Bulgular sonucu otonom robotları üreten ve satan işletmelere yönelik gerçekleştirilen SWOT Analizi Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Küresel Pazarda Otonom Mobil Robotları Üretici ve Aracılarının SWOT Analizi Bulguları

Güçlü Yönleri	Zayıf Yönleri
• Hızlı Uygulama • Üretim hızını artırma • İşçi bulma sıkıntısını önleme • Kolayca Ölçeklenebilir ve ölçülebilir olması • Depo ve stok yönetiminin akıllı hale gelmesi • Mobil robotlarla taşınan malzeme ve ürünlerin takibini ve hakkında birçok veriyi depolamak/paylaşmak • Yorumcu faaliyetleri insan çalışanların yerine yapma ve güvenliği artırma • Teknoloji kullanımı sayesinde müşteriler için itibarlı konuma gelme ve benimsenme	• Robotların her deponun ihtiyacına uyacak şekilde özelleştirilmesi gerekebilir • Robotik hizmet platformunu uygulamak için ilk sermaye maliyetleri • Donanım yükseltmeleri daha fazla zaman ve çaba gerektirebilir • Gelişen teknolojiler ile birlikte devamlı yazılım güncellemesi ve oluşan zaman kaybı
Fırsatlar	Tehditler
• Daha fazla depo alanı sağlaması ve depo alanını en verimli şekilde kullanması • Depolamada sağladığı hız faydası • Otonom robotların insan kaynaklı dezavantajları sahip olmaması • Teknoloji odaklı olması • Daha güvenli depolama ve taşıma sağlaması • Sektörler ve bölgeler genelinde pazar ihtiyaçlarını karşılama gücü • Otomatik depo robotik araçları veya cihazları geliştirmek için bulut bilgi işlem, 5G, nesnelerin interneti gibi teknolojileri kullanması	• Yeni teknolojilere karşı riskten kaçınma • Mevcut Rakipler • Farkındalık eksikliği • Otonom robotlarla etkileşim karmaşıklığı • Otonom robotların kullanımında karşılaşılan güçlükler • Çalışanların otonom robotlara karşı ön yargıları • Yöneticilerin otonom robotlara karşı bilgi düzeyleri ve bilgi paylaşmaktan kaçınmaları

Tablo 2.'ye bakıldığında; otonom mobil robotların pazarda güçlü yönleri zayıf yönlerinden üstün gelmektedir. Bunun yanısıra taşıdıkları birçok fırsata rağmen, karşılaştıkları en büyük tehdit ise işletmede çalışan mavi yakalıların işten atılma korkusu ile ortaya çıkan ön yargıları olduğu görülmektedir. Yapılan başka çalışmalarda da departmanlarda çalışan işçilerin geçiş kurallarına uymaması nedeni ile otonom robotlarla karşılaştıkları, zaten önyargıları nedeni ile kasıtlı olarak robotlara kötü davrandıkları ve zarar verdikleri de belirtilmektedir. Geçmişte bu tür davranışlar daha fazla olsa da günümüzde de hala olumsuz davranış olarak etkinliğini korumaktadır (Dwyer et al., 2021).

Günümüz Endüstri 4.0 sürecinde artık tüm dünyada otonom mobil robotlar zayıf yönlerine ve karşılarına çıkan tehditlere rağmen ortaya koydukları fırsatlar ve güçlü yanları ile giderek pazarda birçok sektörde daha çok yer almaktadırlar. Tablo 3.'de tez çalışmasında incelenen vaka analizlerinden elde edilen bulgulara göre sektörlerde kullanılan otonom robotların faydaları gösterilmiştir.

Tablo 3. Vaka analizlerinden elde edilen bulgulara göre sektörlerde kullanılan otonom robotların faydaları

Sektör	Fayda	Vaka Analizi Örneği
Sağlık	Hastane içerisindeki ağır yüklerin taşınması görevini üstlenebilir böylelikle hasta bakımı için daha fazla zaman ve personel ayrılabilir.	Danimarka'daki Zelanda Üniversite Hastanesi'ndeki beş hastane departmanında otonom lojistik robotları kullanılmaktadır. Böylelikle 190.000 m ² 'lik alanda esnek ve otomatikleşmiş lojistik faaliyetleri sağlanmaktadır.
	Ayrıca hastanelerde enfeksiyon yayılmasını önler. Robotlar hastane bölümleri arasındaki geçişlerde insan çalışanların bulaştırma riskini sıfıra indirir.	
	Bir diğer uygulama ise lobotlara eklenebilen UV yayıcılar sayesinde virüs ve bakterileri öldürebilir.	
Elektronik	Lojistik robotları düşük değerli ve tekrarlayan işleri insanlar yerine yaparak üretkenliğe yardımcı olur.	Whirlpool, dünyanın en büyük ev aletleri üreticilerinden biridir. Polonya'daki üretim alanında kurutucular ve ocaklar üretilmektedir. Verimliliği ve hızı artırmak için şirket, bileşenleri ön montaj ve montaj hatları arasında taşıyan üç adet lojistik robot yatırımı yapmıştır.
	Lojistik robotları sensör ve kameralar yardımı ile hata oranını ve sık envanter kontrolü ihtiyacını azaltır.	
Otomotiv	Artan işçilik maliyetleri yerine yapılan robotik yatırımları net bir şekilde işçilik maliyeti optimizasyonu yaratır.	Ford'un Valendiya'da 300.000 m ² 'lik fabrikasında günde 2000 araç üretilmektedir. Tesiste dahili lojistiği optimize etmek için 3 adet lojistik robotu kullanmaktadırlar.
	Otomotiv endüstrisi üzerindeki parça tedariki konusunda ki baskı ile birlikte otomotivde esneklik kaçınılmaz olmuştur. Lojistik robotları minimum kesinti süresiyle ve kolay kurulabilirliği ile esnekliği artırır.	

Tablo 3. Vaka analizlerinden elde edilen bulgulara göre sektörlerde kullanılan otonom robotların faydaları (Devamı)

Araştırma Laboratuvarları	Araştırma laboratuvarlarında lojistik robotlarının kullanımı. Süreçlerdeki riskli veya zaman alıcı insan hatalarını ortadan kaldırır. Boşa zaman ve malzeme kullanımını ortadan kaldırır ve süreçleri optimize eder.	Argon Medical Devices, Chicago da bulunan üretim tesisinde özel cerrahi iğneler ve kateterler üretmektedir. Şirket, vasıflı, uzun vadeli çalışanları için işleri korurken, bu yüksek maliyetli işgücü piyasasında rekabet etmesine yardımcı olmak için işbirlikçi otomasyona yöneldi. Böylelikle süreçlerine lojistik robotlarını kattılar.
Lojistik	Donanımları ile birlikte güvenli ortamlar yaratan lojistik robotları iş yeri yaralanmaları veya iş tatminsizliği olasılığını azaltarak riske açık veya tekrarlayan görevleri üstlenebilir. Böylece daha güvenli bir ortam yaratmakla kalmaz, aynı zamanda yetenekli personelin daha vasıflı işlere yönelmesine yardımcı olur.	Toptan satış şirketi ICM'nin Odense de yer alan deposundaki yüksek katlı deposu, 12 m yüksekliğe ulaşan rafların oluşturduğu dar koridorlar boyunca hareket eden, paletleri raflardaki konumlarına alan veya yerleştiren insanlı kamyonlarla çalışıyor. Lojistik robotları, paletleri koridorların uçlarına sabit bir akışla teslim eder. robotların dahili taşıma görevlerini yerine getirmesi ile otomatik palet taşıma kurulumu haftada 40 saat tasarruf sağlamıştır.
	İşletmeler, çarpışmaları önlemek için çok sensörlü bir güvenlik sistemini kullanan Lojistik robotlarını uygulayarak önemli ölçüde maliyet optimizasyonunu sağlar.	
Hızlı Tüketim Malları	İşletmeler lojistik robotlarını kullanarak yalın bir yaklaşımı destekleyerek ve uyarlanabilirliği artırarak maliyetli ve zaman alan manuel taşımayı azaltabilir. Robotlar en verimli rotayı otonom olarak belirlemek ve engellerden uzaklaşmak için gelişmiş bir sensör, kamera ve veri karışımı kullanır.	5 adet lojistik robotlarını kullanan doğal ve suni elyafların boyanmasına odaklanan üretim ile tekstil segmentinde faaliyet gösteren bir şirket olan Florisa fabrikasında üretkenliği, güvenliği artırdı ve depolama sorunlarını ortadan kaldırdı. Brusque (SC), Brezilya merkezli. Fabrika daha önce 90 ton kumaşı üretim alanına taşımak için insanlı forkliftler kullanıyordu. Lojistik robotlarının sisteme dahil edilmesi ile, günde 200 tona kadar nakliye yapılarak %122'lik bir verim artışı sağlanmış oldu.

Tablo 3.'de görüldüğü gibi farklı ülkelerde yer alan farklı sektörlerden otonom mobil robot kullanan işletmelerin kamu erişimine açık vaka analizlerine göre sağladıkları faydalar arasında; manuel taşımayı azaltma, uzun vadede maliyeti düşürme, belirlenen koordinatlar dahilinde sistematik çalışmaları nedeni ile güvenliği daha iyi sağlama, insan kaynakları olası hataları ve yaralanmaları azaltma, zamanı en verimli şekilde kullanma, sensör ve kameralar yardımı ile hata oranını ve sık envanter kontrolü ihtiyacını azaltma, taşıma ve depolamada kolaylık sağlama ve verimliliği artırma gibi faydalar yer almaktadır.

Yararlanılan diğer kaynaklardan da elde edilen bilgiler ışığında sektörlerde giderek çok daha fazla kullanılan otonom mobil robotların: artan esneklik, artan güvenlik, hızlı uygulama, kolay entegrasyon, ölçeklendirme yeteneği, birimler ve işletmeler arası taşıma kolaylığı, yüksek sayıda stok tutma birimi (SKUs) ile uyumlu ve iyi çalışması, benzer işleri yapmada aynı özelliklere sahip olmaları böylece insan kaynaklı hataların en aza indirirken, verimliliği ve standardizasyonu sağlaması, teknoloji ile sürekli gelişmeleri olmak üzere temelde dokuz faydaları bulunmaktadır (Proud, 2019).

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Teknolojinin ilerlemesi ile paralel olarak gelişen sanayi devrimleri ile birlikte endüstri sektörü, günümüzde işletmelerin üretim ve tedarik zincirinde etkin olarak yer almaktadır. Küresel rekabet ortamında hayatta kalabilmek için işletmeler yeni uygulamalar ve yaklaşımları uygulamak zorunda kalmışlardır. Endüstri 4.0'ın temel amacı, iletişim, bilgi ve teknoloji yoluyla işletmelerdeki üretim ve lojistik süreçlerinin esnekliğini ve verimliliğini artırarak küresel rekabet güçlerini geliştirmektedir (Gabriel ve Pessl, 2016). Endüstri 4.0 ile birlikte dijitalleşmeyi benimseyen işletmeler daha kolay rekabet edebilmektedir. Artık günümüzde işletmelerin müşteri ihtiyaçlarına yönelik olarak yüksek verimlilik, esneklik, hızlı hareket etme ve karar alma ile ilgili karşı karşıya kaldığı zorlukların üstesinden gelebilmesi için işletmelerin teknolojiyi kullanması ve dijitalleşmeyi uygulamaya koymaları gerekmektedir.

Endüstri 4.0 ile gelişen teknolojiler günümüzde işletmelerin süreçlerinin sürdürülebilirliği sağlamak için kullanılabilmektedir (Brito, vd., 2019). Endüstri 4.0 teknolojilerin ve bileşenlerinin üretim, lojistik ve depo sistemlerine dahil edilmesi ile israfı önleyici önlemler alınabilir ve sürdürülebilir üretim uygulanabilir (Özenir ve Nakıboğlu, 2019). Endüstri 4.0 teknolojilerini işletmeler, üretim dışında lojistik faaliyetlerinde de otomasyon, depo yönetimi ve elektrik ile çalışan akıllı taşıma sistemlerini süreçlerine dahil edebilirler. Böylelikle üretimde de tedarik zinciri operasyonlarında verimliliklerini arttırırlar, insan kaynaklı hatalar en aza indirirler ve karbon emisyonunu ve hava kirliliğini azaltabilirler (Barreto vd, 2017).

Otonom lojistik robotlarının üretim ve depo hatlarında kullanılmasının sürdürülebilirliğe birçok açıdan katkı sağlamaktadır. Otonom mobil robotlarının insan çalışanlar için sıkıcı, tekrarlayan ve tehlikeli işlerde onların yerini alması ile birlikte sosyal sürdürülebilirliği işletmelerde sağlamış olurlar. Ayrıca insan gücünün çalıştığı ortamlarda aydınlatma, ısınma soğutma gibi çevre koşullarının sağlanması gerekmektedir. Böylelikle karbon emisyonu ve harcanan enerjini artar. Otonom mobil robotlar karanlık, insanlara göre daha soğuk veya daha sıcak ortamlarda çalışabildiği için enerji verimliliğini işletmeler için arttırırlar.

Elde edilen bulgulardan çıkan sonuçlar doğrultusunda Endüstri 4.0 bileşenleri arasında yer alan ileri robotik teknolojilerinin işletmelerde kullanımının sürdürülebilirliğe ekonomik, sosyal ve çevresel katkılarının olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak işletmelerin hem öz kaynaklarını korumak hem de çevresel duyarlılığı benimsemek amacıyla lojistik robotlarının işletmelerde kullanımının avantajları yadsınamazdır. Buna bağlı olarak işletmelerin, işletmelerde çalışanların ve robot üreticilerinin bu konuda bilinçlenmesi gerekmektedir.

Yapılan tez çalışması sırasında uygulanması planlanan araştırma yöntemi olarak yapılandırılmamış gözlem yöntemi olmasına rağmen, bu araştırma yöntemi kullanılmadığı için ikinci planlanan doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Yapılandırılmamış gözlem yönteminin uygulanmamasının nedeni; otonom lojistik robotları kullanan firmaların üst düzey yöneticilerinin veri gizliliği sebebi ile çekinceleri olmuştur. Bundan dolayı görüşme taleplerini reddetmişlerdir. Aynı zamanda mobil robotlarla birlikte çalışan mavi yakaların ise otonom mobil robotlara karşı ön yargıları gözlemlenmiştir.

Yapılan görüşme taleplerinde otonom mobil robotlara tepkilerini açık bir dille ifade eden çalışanlar otonom mobil robot üreticileri tarafından ve yöneticileri tarafından kullanımları ile ilgili yeterince eğitim görmemiş ve onları bir tehdit olarak algılamışlardır. Otonom mobil robotları onlara yardımcı bir makineden ziyade işlerini ellerinden alacak bir çalışma arkadaşı olarak görmüşlerdir. Aynı zamanda yer yer kullanması karmaşık olan otonom mobil robotlarının bakımlarını ve ihtiyaçlarını karşılamayı reddettikleri gözlenmiştir. Bundan dolayı otonom mobil robotlarının tam verimlilikle üretim hatlarında çalışması zorlaşmıştır.

7.2. Öneriler

Yapılan tez çalışmasında endüstri 4.0 sürecinde lojistik robotlarının kullanımının sürdürülebilirliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar sırasında elde edilen bulgular incelendiğinde varılan sonuçlara göre bazı olumsuzluklar saptanmıştır. Otonom mobil robotların işletmelerde kullanımının gerekli yatırımlar yapıldığında ve çalışanlara eğitimler verildiğinde sürdürülebilirliğe ve işletmelerin verimliliğine katkıları görülmüştür.

Farklı teknolojiler gibi lojistik robotların da faydaları ve amaçlarını bilmeyen çalışanlar tarafından tehdit olarak görülmüşlerdir. Yöneticilerin ve robot üreticilerinin bu konuda eğitime önem vermeleri gerekmektedir. Böylelikle personel bilinçlenir ve robotlarla çalışma motivasyonu ve işine olan güveni sağlanır. Robotlarla birlikte çalışan operatörlere aslında robotların onlara destek olacağını ve güvenli çalışma alanı sağlayacağını net bir şekilde anlatılmalıdır. Lojistik robotları kullanıldığı tesislerde iş güvenliği, verimliliği ve karlılığı da arttırırlar.

Otonom mobil robot üreticileri ve sanayide ki farklı sektörden işletme sahipleri biraraya gelerek sektörlerde kullanımı ve robotların bu konuda özelleşebileceği konusunda bilinçlendirilmeli ve kullanımı yaygınlaşmalıdır. Faydaları ve işletmelerdeki yarattığı verimlilik açık kaynak şeklinde sektörle paylaşılmalı ve bütün paydaşların ortak bir ekosistem oluşturulmalıdır.



KAYNAKÇA

- Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Soetan, S. B., Emetere, M. E., & Ongbali, S. O. (2021). “Enviably roles of manufacturing processes in sustainable fourth industrial revolution—A case study of mechatronics”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 44, pp. 2895-2901.
- Ahmet, E. F. E., (2021). Yapay Zekâ ve Endüstri 4.0 İlişkisinin Siber Güvenlik Perspektifinden Analizi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 123-143.
- Akarsu, K. E., (2023). “Endüstri 4.0 Bileşenleri ve Teknolojileri”. <https://www.mespact.com/Blog/Endustri-4-0-Bilesenleri-ve-Teknolojileri/>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023.
- Akben, İ., & Avşar, İ. İ., (2018). “Endüstri 4.0 ve karanlık üretim: genel bir bakış”, *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 26-37.
- Alım, M., & Ercan, U. (2022). “Sürdürülebilir Lojistik”, *Uluslararası Ticaret ve Lojistik 4.0: Güncel Trend ve Uygulamalar*, Editörler: Gökhan Akandere, Fatih Cura, ss. 183-200, Eğitim Yayınevi, İstanbul.
- Alkış, G., Pirtini, S., Ertemel, A.V., (2020), Lojistik Sektöründe Endüstri 4.0 Uygulamalarının Operasyonel Verimliliğe Etkisi, *Business & Management Studies: An International Journal (BMIJ)*, 8(1): 371-395
- Asar, İ., & Esen, Ş. (2021). “Endüstri 4.0 ve işletme yönetiminin geleceğine olası etkileri: kavramsal bir yaklaşım”, *Generic Page*, 7(4).
- Atay, M. (2022). “Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetiminde Endüstri 4.0 Yaklaşımı”. *Multidisipliner Yaklaşımlarla Endüstri 4.0*, Editör: Mustafa Demirbilek, Efe Akademi Yayınları, ss. 159-177.
- Atzeni, G., Vignali, G., Tebaldi, L., & Bottani, E. (2021). “A Bibliometric analysis on collaborative robots in Logistics 4.0 environments”, *Procedia Computer Science*, 180, pp. 686-695.
- Aylak, B.L., Kayıkcı, Y., Taş, M.A. (2020). Türkiye’de Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Dijital Trendlerinin İncelenmesi, *Journal of Yaşar University*, 15(57): 98-116, İzmir
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). “Industry 4.0 technologies assessment: a sustainability perspective”. *International Journal of Production Economics*, Volume 229, 107776, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). “Industry 4.0 implications in logistics: an overview”, *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.

- Başaran, S. C. (2011). “*Türk İş Dünyasında Sürdürülebilirlik Uygulamaları Değerlendirme Raporu*”, İstanbul Menkul Kıymetler Borsası, Ekim 2011, ss:5
- Berg, B. L., & Lune, H., (2015). “*Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*”. (Çev. Prof. Dr. Asım Arı). Eğitim Yayınevi.
- Bi, Z., & Cochran, D. (2014). “Big data analytics with applications”, *Journal of Management Analytics*, 1(4): 249–265.
- Bilgiç, E., Türkmenoğlu, M. A. & Koçak, A., (2020). “Dijitalleşmenin lojistik yönetimi bağlamında incelenmesi”. *Bitlis Eren Üniversitesi İ.İ.B.F. Akademik İzdüşüm Dergisi*, 5(1): 56-69.
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., da Silva, M. T., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B., (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges, *Sustainability*, 10(10): 3740, doi.org/10.3390/su10103740.
- Bozkurt Keser, S., Sarıçiçek, İ., Yazıcı, A., (2020). “İç Lojistikte Otonom Robotlar için Görev Planlaması”, *Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi (ESOGÜ) Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2): 117-127, Eskişehir
- Braccini, A. M., & Margherita, E. G., (2018). “*Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. Sustainability*”, 11(1), 36.
- Brito, M.F., Ramos, A.L., Carneiro, P., & Gonçalves, M.A. (2019). “*Ergonomic Analysis in Lean Manufacturing and Industry 4.0—A Systematic Review*”. Editors: Alves A., Kahlen FJ., Flumerfelt S., Siriban-Manalang A., in *Lean Engineering for Global Development*, pp. 95-127. Switzerland: Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_4.
- Calp, M. H., Bahçekapılı, E., & Berigel, M. (2018). “*Endüstri 4.0 Kapsamında Akıllı Fabrikaların İncelenmesi*”, 5th International Management Information Systems Conference, IMISC Conference Proceedings, pp. 116-120, October 24-26 2018, Ankara
- cemenTürk, (2022). “Lojistik Akıllı Dönüşüme Devam Ediyor”, cemenTürk, 26 Ekim 2022, <https://cementurk.com.tr/lojistik-akilli-donusume-devam-ediyor/>, Erişim Tarihi: 2 Haziran 2023
- Choi, S., & Ng, A. (2011). Environmental and economic dimensions of sustainability and price effects on consumer responses”, *Journal of Business Ethics*, 104(2): 269-282, doi.org/10.1007/s10551-011-0908-8.
- Cormind, (2022). “*Endüstri 4.0’ın Prensipleri*”, <https://cormind.com.tr/Endustri-40in-Prensipleri>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023.

- Çalışkan., G., (2020). “*Dijitalleşme/Dijital Dönüşüm Nedir?*”. <https://binbiriz.com/Blog/Dijitalleşme-Dijital-Donusum-Nedir>, 10.09.2020, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023.
- Çelik, F. B., Topçu, E., & Onursal, F. S., (2020). “Lojistik ve Dijitalleşme”, Bölüm 17, Sektörleri ve Mesleklerin Geleceği, Editörler: Sabri Öz, Fatma Serab Onursal, Cihad Terzioğlu, Hiper Yayın, ISBN: 978-625-7845-58-8, ss. 391-414, İstanbul.
- Çetinkaya, F.F., (2021). “Endüstri 4.0 Farkındalığının İnovasyon Üzerindeki Etkisi”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2): 571-598, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1849439>
- Çetinkaya, O., (2022). “Lojistikte Akıllı Varlıklar”, *Antalya Bilim Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (2): 111-119, doi: 10.54969/Abuijss.1172719
- Çirkin, E., & Özdağoğlu, A., (2021). “Endüstri 4.0 Bünyesindeki Otonom Robotların Sürdürülebilirlik Perspektifleri Açısından Değerlendirilmesi”, *Erciyes Akademi*, 35(4): 1534-1553.
- Demiral, D. G., (2021). “Endüstri 4.0'ın Lojistik Boyutu: Lojistik 4.0.”, *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (9), Kış sayısı, ss. 231-251.
- Doğan, G., (2020). “Otonom Mobil Robot Nedir? Ürün Taşımada Güvenli Yöntem”, <https://teknoloji.org/otonom-mobil-robot-nedir-urun-tasimada-guvenli-yontem/>, Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2023
- Doğru, B. N., & Meçik, O., (2018). Türkiye’de Endüstri 4.0’ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Vol.23, ss. 1581-1606
- Duman, A., Karğın, S., (2021). “Akıllı Üretimin İşletme Performansına Etkisi: Vaka Analizi Yaklaşımı”, *Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi*, 4(2): 91–109, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1742871>
- Dwyer, J., Gomez, R., Donovan, J., & Brophy, C., (2021). “*Autonomous Mobile Robots: Opportunities and Challenges*”, Publisher BMW Group+ QUT Design Academy, https://eprints.qut.edu.au/211885/1/MPhil_Short_Paper_AMRs_opportunities_and_challenges.pdf
- EBSO, (2015). “Sanayi 4.0: Uyum sağlamayan kaybedecek”, İzmir: Ege Bölgesi Sanayi Odası <https://tarihegitimi.blogspot.com/2016/01/sanayi-devrimi-uzerine-calsma.html>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023
- Eldem, M. O., (2017). “Endüstri 4.0”, *TMMOB EMO Ankara şubesi haber bülteni*, http://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a_ek.pdf?dergi=1111 Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023

- Erol, İ. & Özmen, A. (2008). “Çevresel Düzeyde Sürdürülebilirlik Performanslarının Ölçülmesi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama”, *İşletme, İktisat ve Finans Dergisi*, 23(266): 2
- Evans, P.C., Annunziata, M. (2012). *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*, General Electric, Imagination at Work, <http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-109.4300/2015/luennot-files/Industrial.pdf>, November 26, 2012.
- Fırat O.Z., Fırat S.Ü., (2017). “Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt: 46, Sayı: 2, November/Kasım 2017, ss. 211-223, İstanbul.
- Fitzgerald, J., & Quasney, E., (2017). “Using Autonomous Robots To Drive Supply Chain Innovation”, Deloitte Perspectives”, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-autonomous-robots-supply-chain-innovation.pdf>
- Gabriel, M., & Pessl, E., (2016). “Industry 4.0 and Sustainability Impacts: Critical Discussion of Sustainability Aspects with A Special Focus on Future of Work and Ecological Consequences”. *ANNALS of Faculty of Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Tome XIV, Fascicule 2, pp. 137-150, May 2016, <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2016/ANNALS-2016-2-22.pdf>
- Galindo, D., (2016). “The Challenges of Logistics 4.0 for the Supply Chain Management and the Information Technology”, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, p. 25.
- Gedik, Y., (2020). “Sosyal, Ekonomik ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Kalkınma”, *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3): 196-215.
- Gedik, Y., (2021). “Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0’ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve”, *JOEEP: Journal Of Emerging Economies and Policy*, 6(1): 248-264.
- Ghobakhloo, M., (2020). “Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability”, *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869.
- Girija, P., Mareena, J., Fenny, J., Swapna, K., & Kaewkhiaolueang, K., (2021). “Amazon Robotic Service (ARS)”, Portland State University, PDXScholar, https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3309&context=etm_stud_entprojects

- Görçün, Ö. F., (2018). “Lojistikte Teknoloji Kullanımı ve Robotik Sistemler-Technology Utilization in Logistics and Robotic Systems”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24): 351-368.
- Gürün, F., (2019). Endüstri 4.0 ve Beşeri Sermayenin Geleceği. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 76, 67-88, <https://doi.org/10.26650/Jspc.2019.76.0004>
- Hazelton, J., and Haigh, M., 2010. “Incorporating Sustainability into Accounting Curricula: Lessons Learnt From an Action Research Study”, *Accounting Education: An International Journal*, Vol. 19, Nos. 1–2, pp. 159–178.
- Indoria, M., Kumar, P., Panwar, Y., & Sharma, T. (2021). “Implementation of industry 4.0 to achieve sustainable manufacturing in steel industry: A case study”, *Systematic Literature Review and Meta Analysis Journal*, 2(1): 1-9.
- İdeaport, (2021). “Üretimin Geleceğinde Gelişen Teknolojiler Katmanlı İmalat Teknolojileri”, s. 3, www.ttgvy.org.tr/Tur/İmages/Publications/609a329348a78.pdf
- İlhan, R., (2020). “Endüstri 4.0 Uygulamaları”, Otonom Fabrika <https://www.otonomfabrika.com/endustri40-uygulamalar/>, Erişim Tarihi: 15.05.2022.
- Intel, (2022). “Autonomous Mobile Robot Technology and Use Cases”, <https://www.intel.com/content/www/us/en/robotics/autonomous-mobile-robots/overview.html>, Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2023.
- Kabaca, D. Y. (2019). “Endüstri 4.0 Devrimi ve Uygulamaları İle Etkilerinin İncelenmesi”, (Doctoral Dissertation).
- Kahraman. H., “Endüstri 4.0 ile Katmanlı Üretim”, <https://www.endustri40.com/Endustri-4-0-İle-Katmanli-Uretim/>, Erişim Tarihi: 01 Haziran 2023.
- Kahyaoğlu, D. (2009). “Sanayi Devrimi Üzerine Çalışma”, <https://tarihegitimi.blogspot.com/2016/01/sanayi-devrimi-uzerine-calsma.html>, Erişim Tarihi: 15 Mart 2023.
- Karakoç, N., Tamer, E. R. E. N., & Özcan, E., (2020). “Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi İçin Endüstri 4.0’daki Zorlukların Değerlendirilmesi”. *Endüstri mühendisliği*, 31(2): 215-233.
- Karlı, H., & Tanyaş, M., (2020). “Lojistik Yönetiminin Dijital Dönüşümü: Akıllı Lojistik Üzerine Sistemik Literatür Haritalaması”. *Optimum Ekonomi Ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 7(2): 613-632.
- Koştı, G. (2020). “Sanayi 4.0 ve Teknoloji Bileşenleri”, *Journal of Business Innovation and Governance*, 3(2): 131-144.

- Kutlu, H., (2023). “Lojistik 4.0 Kavramı ve Lojistik Bilgi Teknolojileri”, <https://lojistikbilimi.com/lojistik-4-0-kavrami-ve-lojistik-bilgi-teknolojileri/>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2013.
- Lee, J., (2015). “Smart Factory Systems”, *Informatik-Spektrum*, 38(3): 230-235.
- Lin, B., Jones, C. A., (2009). “Digital Supply Chain Management and Implementation: A Research Review”, 2009 SWSDI Conference Proceedings, pp. 589-592, <http://www.swdsi.org/swdsi2009/papers/9q02.pdf>
- Macdougall, W. (2014). “*Industrie 4.0: Smart Manufacturing for The Future*”, Technical Report of Germany Trade and Invest. GTAI, pp. 6-21, <https://www.pac.gr/bcm/uploads/industrie4-0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf>, Publisher Germany Trade and Invest, Berlin Germany, Erişim Tarihi: 05.01.2022.
- Madakam, S. , Ramaswamy, R. and Tripathi, S., (2015). “Internet of Things (IoT): A Literature Review”. *Journal of Computer and Communications*, 3, 164-173. doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- McMichael, A.J., Butler, C.D., & Folke, C. (2003). “New Visions for Addressing Sustainability”, *Science*, 302(5652): 1919-1920.
- Mercimek, A.F., Geçkil, T. (2021). “Endüstri 4.0’ın Lojistik Sektörüne Uygulanması: Lojistik 4.0”, *Five Zero*, 1(1): 57-77, E-ISSN: 2792-0577, [https://www.fivezerojournal.com/uploads/publications/endu%CC%88stri-40in-lojistik-sektoru%CC%88ne-uygulanmasi -lojistik-40-the-application-of-industr897774450.pdf](https://www.fivezerojournal.com/uploads/publications/endu%CC%88stri-40in-lojistik-sektoru%CC%88ne-uygulanmasi-lojistik-40-the-application-of-industr897774450.pdf), Konya.
- MIR, (2022). “Mobile Industrial Robots Case Studies”, <https://www.mobile-industrial-robots.com/case-studies/>, Erişim Tarihi: 2 Haziran 2023.
- Moldan, B., Janousková, S. ve Hak, T., (2012). “How to Understand and Measure Environmental Sustainability: Indicators and Targets”, *Ecological Indicators*, Vol: 17, pp. 4-13.
- Morelli, J., (2011). “Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals”, *Journal of Environmental Sustainability*, Vol: 1(1), Article 2, 1-10.
- Nunes, M.L., Pereira, A.C. ve Alves, A.C. (2017). “Smart Products Development Approaches for Industry 4.0”, *Procedia Manufacturing*, 13, 1215-1222.
- Okwu, Modestus & Tartibu, Lagouge & Machesa, Mosa., (2021). “Fourth industrial revolution and sustainable impact in autonomous fleets for effective supply chain network in manufacturing systems”, *Conference: Proceedings of the 31st Annual South African Institute for Industrial Engineering*, South Africa

- Özdemir, A., Özgüner, M. (2018). “Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Etkileri: Lojistik 4.0”, *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, Cilt 6, Sayı 4, ss. 33-47, Mersin
- Özenir, İ. & Nakıboğlu, G., (2019). “Sürdürülebilir Üretimde Endüstri 4.0’ın Yeri”, *Business & Management Studies: An International Journal (BMIJ)*, 7(5): 2248-2281, <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i5.1197>
- Özsoylu, A.F., (2017). “Endüstri 4.0”, *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1): 41-64, Adana
- Pamuk, N.S., Soysal, M. (2018). “Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme”, *Verimlilik Dergisi*, Ocak 2018/Sayı 1, ss. 42, e-ISSN: 2757-6973, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara
- Pérez, G., & Sánchez, R. (2019). “Logistics for Production, Distribution and Trade (No. 369)”. *FAL Bulletin*, Economic Commission for Latin America and the Caribbean. <http://hdl.handle.net/11362/44899>
- Proud, M., (2019). “Mobile Autonomous Robots: The Top Benefits of Having Them in Your Workplace”, Proud Automation, <https://www.proudco.com/2019/07/16/mobile-autonomous-robots-the-top-benefits-of-having-them-in-your-workplace/>, Erişim Tarihi: 16.05.2022.
- Rose, D. C., Lyon, J., de Boon, A., Hanheide, M., & Pearson, S. (2021). “Responsible Development of Autonomous Robotics in Agriculture”, *Nature Food*, 2(5): 306-309.
- Saatçioğlu, Ö., Kök, G., Özispa, N., (2018). “Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Yansımalarının Örnek Olay Kapsamında Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (23), Sayı: Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, ss. 1675-1696.
- Sağiroğlu, Ş., Yazıcı, A., & Demirezen, M. U. (2021). “Yapay Zekâ ve Büyük Veri Kitap Serisi 2: Yapay Zeka ve Büyük Veri: Endüstri 4.0 ve Yapay Zekâ”. Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 978-625-439-361-7, İstanbul.
- Santos, K., Loures, E., Piechnicki, F., Canciglieri, O., (2017). “Opportunities assessment of product development process in industry 4.0”, *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing–FAIM2017*, 27-30 June 2017, Modena, Italy
- Schwab, K., (2016). “Dördüncü Sanayi Devrimi”. Çeviren: Zülfü Dicleli, Optimist Yayınları, Sayfa sayısı. 196, İstanbul.
- Sheth, J.N., Sethia, N.K., & Srinivas, S. (2011). “Mindful Consumption: a Customer-Centric Approach to Sustainability”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 39(1): 21-39.

- Solino, A., (2023). “Dijital Dönüşüm Nedir? Dijitalleşme Rehberi”.
<https://www.albertsolino.com/Blog/Dijital-Donusum-Nedir/>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023.
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). “Robots in Agriculture: Prospects, İmpacts, Ethics, and Policy”, *Precision Agriculture*, 22(3): 818-833.
- Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). “Endüstri 4.0’ın Etkisiyle Lojistik 4.0”, *Journal of Life Economics*, 5(2), 17-36.
- Taş, A., Başaran Algöz, S. (2021). “Lojistik Sektörü Özelinde Endüstri 4.0 Farkındalık Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma”, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 23(41), ss. 404-417, Karaman
- Tecim, D., “Endüstri 4.0”. <https://vahaptecim.com.tr/Endustri-4-0/>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2023.
- Toker, K. (2018). “Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirliğe Etkileri”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadî Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29(84), 51-64.
- Türkel, S., & Yeşilkuş, F. (2020). “Dijital Dönüşüm Paradigması: Endüstri 4.0”, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 332-346.
- Türkmen, N. Ö. (2022)., “Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetiminde Siber Güvenlik”, *Lojistiğin Geleceği-1*, ss. 98,99, İksad Yayınevi, Ankara
- Tüyen, Z., (2020). “İşletmelerde Sürdürülebilirlik Kavramı ve Sürdürülebilirliği Etkileyen Etmenler”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19 (37): 91-117
- Vivaldini, K.C.T., Rocha, L.F., Becker, M., Moreira, A.P., (2015). “Comprehensive Review of the Dispatching, Scheduling and Routing of AGVs”, *CONTROLO’2014 – Proceedings of the 11th Portuguese Conference on Automatic Control, in Chinese Journal of Mechanical Engineering*, pp. 505–514. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10380-8_48
- Wang, S.; Wan, J.; Li, D.; Zhang, C., (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12, 3159805.
- Wong, C., Yang, E., Yan, X.-T., & Gu, D., (2018). “Autonomous Robots for Harsh Environments: A Holistic Overview of Current Solutions and Ongoing Challenges”, *Systems Science & Control Engineering*, 6(1), 14-15.
- Sarıcıoğlu, P., İlerisoy, Z.Y., Soyluk, A., (2022). “Mimarlık ve Endüstri 4.0 Eşleşmesi”, *Yapı Mimarlık Tasarım Kültür Sanat Dergisi*, <https://yapidergisi.com/Mimarlik-Ve-Endustri-4-0-Eslesmesi/>, Erişim Tarihi: 5 Mart 2023.
- Yelis, B., (2022). “Yatay ve Dikey Entegrasyon Nedir?”. <https://www.endustri40.com/Yatay-Ve-Dikey-Entegrasyon-Nedir/>, Erişim Tarihi: 8 Nisan 2023.

- Yıldız, A. (2018). “Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2): 546-556
- Yılmaz, E. N., Gönen, S., Şanoğlu, S., Karacayılmaz, G., & Özbirinci, Ö., (2021). “Endüstri 4.0’ın Gelişim Sürecinde Unutulan Bileşen: Siber Güvenlik”, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 9(4): 1142-1158.
- Yılmaz, F., (2018). “Robotlar Hayatımızda”, *İlmi Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, (12), 109-120. Doi: 10.16947/Fsmia.502206
- Yılmaz, Ü., & Duman, B., (2019). “Lojistik 4.0 Kavramına Genel Bir Bakış: Geçmişten Bugüne Gelişim ve Değişimi”. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1): 186-200.
- Yücel, T. S., (2016). “Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Kavramının İncelenmesi ve Muhasebe ile İlişkisi: Teorik Bir Araştırma”, *Kesit Akademi Dergisi*, (5), ss.158-181.
- Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S.T., (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review, *Engineering*, 3(5): 616-630, ISSN: 2095-8099, Published by Elsevier Ltd, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015>

ÖZGEÇMİŞ

Gözde Çimen, Yaşar Üniversitesi Endüstriyel Tasarım bölümünden 2019 yılında mezun olmuştur. Mezuniyetin ardından okuldan arkadaşları ile birlikte kurdukları e-ticaret markasını tasarım, üretim, satış ve pazarlama faaliyetlerini yürütmüştür. 2020 yılında ise özel sektörde robotik sektöründe çalışma hayatına başlamıştır ve Endüstriyel Tasarım ve Pazarlama Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.

Çimen, çalışma hayatı boyunca ürünlerin konsept tasarımlarını yapma, 3 boyutlu modellerini oluşturma, görselleştirme çalışmalarını yapma, pazarlama faaliyetleri içerisinde bulunan pazar araştırmaları, sosyal medya içerikleri, web site tasarımı, içerik planlama, dijital pazarlama, pazarlama stratejileri oluşturma, marka stratejileri gibi alanlarda görev ve sorumluluklar üstlenmiştir.

Gözde Çimen, lisans eğitiminde almış olduğu bilgileri pekiştirmek, yeni şeyler öğrenmek ve geliştirmek adına 2020 yılında Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Anabilim Dalı Endüstriyel Tasarım Kültürü ve Uygulamaları programına başvurmuş ve kabul edilmiştir. Yüksek Lisans eğitimi sırasında gerçekleştirdiği tez çalışmasında çalışmakta olduğu sektörden edindiği bilgiler ve gördüğü literatür çalışmalarının eksikliği ışığında “Endüstri 4.0 Sürecinde Dijitalleşme İle İşletmelerde Lojistik Robotlarının Kullanımının Sürdürülebilirliğe Ve Pazarlama Karmasına Etkilerinin İncelenmesi” konulu tez çalışmasını gerçekleştirmiştir.