

PARADOKS EKONOMİ, SOSYOLOJİ ve POLİTİKA DERGİSİ

PARADOKS Economics, Sociology and Policy Journal

Cilt/Vol: 20, Sayı/Issue 2, Sayfa/Page: 294-335

Yıl: 2024

ISSN: 1305-7979



PARADOKS
Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi



PARADOKS
Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi

Editörler / Editors in Chief

Baş Editör

Prof. Dr. Elif KARAKURT TOSUN

Alan Editörü

Prof. Dr. Sema AY

Teknik Editör

Prof. Dr. Hilal YILDIRIR KESER

**TARANDIĞIMIZ
INDEXLER**



Dergide yayınlanan yazılardaki görüşler ve bu konudaki sorumluluk yazarlarına aittir. Yayınlanan eserlerde yer alan tüm içerik kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

All the opinions written in articles are under responsibilities of the authors. None of the contents published cannot be used without being cited.

Yayın ve Danışma Kurulu / Publishing and Advisory Committee

Prof. Dr. Sema AY (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Veysel BOZKURT (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Marijan CINGULA (University of Zagreb)
Prof. Dr. Recai ÇINAR (Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. Elif KARAKURT TOSUN
Prof. Dr. Aşkın KESER (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Emine KOBAN (Gaziantep Üniversitesi)
Prof. Dr. Ferhat ÖZBEK (Gümüşhane Üniversitesi)
Prof. Dr. Senay YÜRÜR (Yalova Üniversitesi)
Assoc. Prof. Dr. Mariah EHMKE (University of Wyoming)
Doç. Dr. Zerrin FIRAT (Uludağ Üniversitesi)
Assoc. Prof. Dr. Ausra REPECKIENE (Kaunas University)
Assoc. Prof. Dr. Cecilia RABONTU (University "Constantin Brancusi" of TgJiu)
Prof. Dr. Hilal YILDIRIR KESER (Bursa Teknik Üniversitesi)
Dr. Murat GENÇ (Otago University)

Hakem Kurulu / Referee Committee

Prof. Dr. Hamza ATEŞ (Kocaeli Üniversitesi)
Prof. Dr. Veysel BOZKURT (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Marijan CINGULA (University of Zagreb)
Prof. Dr. Recai ÇINAR (Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. Kemal DEĞER (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet Sami DENKER (Dumlupınar Üniversitesi)
Prof. Dr. Bülent GÜNŞOY (Anadolu Üniversitesi)
Prof. Dr. Ömer İŞCAN (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Vedat KAYA (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Sait KAYGUSUZ (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Aşkın KESER (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Emine KOBAN (Gaziantep Üniversitesi)
Prof. Dr. Ahmet MUTLU (Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Prof. Dr. Nilüfer NEGİZ (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Prof. Dr. Serap PALAZ (Balıkesir Üniversitesi)
Prof. Dr. Ali Yaşar SARIBAY (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Abdülkadir ŞENKAL (Kocaeli Üniversitesi)
Prof. Dr. Veli URHAN (Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. Sevtap ÜNAL (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Sevda YAPRAKLI (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Uğur YOZGAT (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Senay YÜRÜR (Yalova Üniversitesi)
Doç. Dr. Rasim AKPINAR (Manisa Celal Bayar Üniversitesi)
Doç. Dr. Gül ATANUR (Bursa Teknik Üniversitesi)
Doç. Dr. Tülin ASLAN (Uludağ Üniversitesi)
Doç. Dr. Arzu ÇAHAN'TİMUR (Uludağ Üniversitesi)
Doç. Dr. Ceyda ÖZSOY (Anadolu Üniversitesi)
Doç. Dr. Doğan BIÇKI (Muğla Üniversitesi)
Doç. Dr. Elif ÇOLAKOĞLU (Atatürk Üniversitesi)
Doç. Dr. Mithat Arman KARASU (Harran Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa KOCALOĞLU (Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi)
Doç. Dr. Ahmet MUTLU (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Doç. Dr. Nilüfer NEGİZ (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Doç. Dr. Veli Özer ÖZBEK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Doç. Dr. Ferhat ÖZBEK (Gümüşhane Üniversitesi)
Assoc. Prof. Dr. Cecilia RABONTU (University "Constantin Brancusi" of TgJiu)
Assoc. Prof. Dr. Ausra REPECKIENE (Kaunas University)

Doç. Dr. Gözde YILMAZ (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Aybeniz AKDENİZ AR (Balıkesir Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Cantürk CANER (Dumlupınar Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Işın KIRIŞKAN (Giresun Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÖNGEN BİLİR (Bursa Teknik Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Ersoy SOYDAN (Kastamonu Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZALTIIN (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi)
Dr. Murat GENÇ (Otago University)
Dr. Enes Battal KESKİN (Uludağ Üniversitesi)



PARADOKS
Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi

Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi

Yıl: 2024, Cilt/Vol: 20, Sayı/Issue: 2

HAKEM KURULU

Prof. Dr. Gökçe Çiçek CEYHUN	BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Halit Burç AKA	TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Funda YİRMİBEŞOĞLU	İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Esra ÇIKMAZ	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Yaprak ÖZEL	İSTANBUL NİŞANTAŞI ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Gülşen ÇETİN AYDIN	KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Mehmet Fatih ÇÖMLEKÇİ	KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Öğr. Üyesi Gökmen DURMUŞ	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
Dr. Öğr. Üyesi Ercan İNCE	İĞDIR ÜNİVERSİTESİ
Dr. Öğr. Üyesi Gülayşe ÜLGEN TÜREDİ	KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
Dr. Öğr. Üyesi Bilge ÇAĞATAY	FENERBAHÇE ÜNİVERSİTESİ

ENDÜSTRİ 4.0'IN İNSAN HAYATI VE İŞ YAŞAMINA ETKİLERİ

Mesut ŞÖHRET

Doç. Dr., Gaziantep Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

Uluslararası İlişkiler Bölümü

ORCID: 0000-0003-4052-9286

sohretmesut@yahoo.com

Onur Cem ÖZKEN

Yüksek Lisans Mezunu, Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,

İş Sağlığı ve Güvenliği ABD

ORCID: 0000-0003-1738-1615

me.ozken@gmail.com

ÖZET

Günümüzde hızla değişen ve dönüşen dünyada, Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi, üretim süreçlerinde köklü bir dönüşümün habercisidir. Bu kavram, otomasyon sistemleri aracılığıyla insan müdahalesine neredeyse hiç ihtiyaç duymadan, makinelerin birbiriyle veri alışverişi yaparak üretimi gerçekleştirdiği modern bir sistemi ifade etmektedir. Endüstri 4.0 Akıllı Fabrikalar, Nesnelerin İnterneti (IoT), İnternet Servisleri, Yapay Zekâ, Öğrenen Robotlar, Büyük Veri, Sanal Gerçeklik, 3 Boyutlu Yazıcılar, Bulut Teknolojileri ve Siber-Fiziksel Sistemler gibi ileri teknolojiye dayalı bileşenlerden oluşmaktadır. Bu yeni üretim modeli, insanlık tarihindeki şu ana kadar ki en ileri teknolojik seviyeyi temsil etmektedir. Endüstri 4.0, insan hayatını ve iş yaşamını köklü bir şekilde dönüştürmeye başlamıştır. Öyle ki Geçmişte üretim süreçlerinin temel gücü insanın fiziksel emeği iken, günümüzde bu güç yerini teknolojik sistemlerin kontrolüne bırakmıştır. İnsanlar, artık makine başında uzun saatler geçirerek üretim yapmak yerine, bu sistemlerin planlamasını ve yönetimini üstlenmektedir. Endüstri 4.0 ile üretim süreçleri hızlanmış, verimlilik önemli ölçüde artmıştır. İnsanlar, fiziksel iş yükünden kurtularak daha stratejik ve yaratıcı alanlara yönelme fırsatı bulmuştur. Bu dönüşüm, birçok geleneksel mesleği ortadan kaldırırken, yeni meslek alanları ve uzmanlık gerektiren rollerin doğmasına yol açmıştır. Özellikle veri analizi, yazılım geliştirme ve yapay zekâ ile ilgili beceriler büyük önem kazanmıştır. Endüstri 4.0, yalnızca üretim süreçlerini değil, insan yaşamının temel dinamiklerini de değiştiren devrim niteliğinde bir gelişmedir. İnsanlar artık üretimin fiziksel yükünü taşımak yerine, bu ileri teknolojik sistemleri kontrol eden ve geliştiren stratejik bir konuma yükselmiştir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın temel özellikleri ile birlikte, insan hayatı ve iş yaşamına olan etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmada literatür taraması yapılarak doküman incelemesi yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Sanayi Devrimleri, İş Yaşamı, Yapay Zekâ, Bulut Teknolojileri, 3 Boyutlu Yazıcılar, Karanlık Fabrikalar, Nesnelerin İnterneti.

THE EFFECTS OF INDUSTRY 4.0 ON HUMAN LIFE AND WORKING LIFE

Mesut ŞÖHRET

*Doç. Dr., Gaziantep University, Faculty Of Economics And Administrative Sciences,
Department Of International Relations*

ORCID: 0000-0003-4052-9286

sohretmesut@yahoo.com

Onur Cem ÖZKEN

*Master's Degree, Gaziantep University, Graduate School Of Social Sciences,
Occupational Health and Safety Program*

ORCID: 0000-0003-1738-1615

me.ozken@gmail.com

ABSTRACT

In today's rapidly changing and transforming world, the fourth industrial revolution, called Industry 4.0, heralds a radical transformation in production processes. This concept refers to a modern system in which machines exchange data with each other through automation systems, with almost no need for human intervention. Industry 4.0 consists of advanced technology-based components such as Smart Factories, the Internet of Things (IoT), Internet Services, Artificial Intelligence, Learning Robots, Big Data, Virtual Reality, 3D Printers, Cloud Technologies, and Cyber-Physical Systems. This new production model represents the most advanced technological level in human history to date. Industry 4.0 has begun to radically transform human life and business life. While in the past the main power of production processes was the physical labor of human beings, today this power has been replaced by the control of technological systems. People now undertake the planning and management of these systems instead of spending long hours at the machine. With Industry 4.0, production processes have accelerated and productivity has increased significantly. People are freed from the physical workload and have the opportunity to move into more strategic and creative fields. While this transformation has eliminated many traditional professions, new ones have emerged. In particular, skills related to data analysis, software development, and artificial intelligence have gained great importance. Industry 4.0 is a revolutionary development that changes not only production processes but also the basic dynamics of human life. Instead of carrying the physical burden of production, people are now in a strategic position to control and develop these advanced technological systems. In this study, the main features of Industry 4.0 and its effects on human life and business life are discussed in detail. In this study, a literature review was conducted and a document analysis method was used.

Key Words: *Industry 4.0, Industrial Revolutions, Business Life, Artificial Intelligence, Cloud Technologies, 3D Printers, Dark Factories, Internet of Things.*

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0, gelişen teknolojinin ışığında güçlenen otomasyon sistemleri, bilişim teknolojisindeki yenilikler sayesinde ortaya çıkan yenilikçi fikirlere sahip bir üretim şeklidir. Üretim aşamalarında dijitalleşmenin ilerlemesi, makinelerin bilgisayarlar aracılığıyla iletişim kurması endüstri alanında yeni bir üretim modeli oluşturmuştur. Endüstri 4,0'ın temelinde, internet aracılığıyla akıllı cihazlar arası gerçek zamanlı veri akışı sağlamak, kurulan akıllı sistemler ile bu verileri işlemek ve yönetmek, ham madde aşamasından son ürüne kadar geçen süreçleri takip etmek, şekillendirmek ve bu bilimsel metotların bir bütün şeklinde kullanılması vardır. Bu bütünsel tutum içerisinde üretilmekte olan yeni yöntemler, teknolojiler, standartlar Endüstri 4,0'ı geliştirmektedir.

Bir fabrikanın Endüstri 4,0 standartlarına ulaşabilmesi için önünde belirlenmiş kesin kurallar bulunmamakla birlikte Endüstri 4,0 kavramını ve bileşenlerini algılayıp, bu üretim sisteminin getirisi olan yeni iş modellerini ve varoluş nedenlerini kendine rota olarak seçen ve kendi vizyonları çerçevesinde genişleten fabrikaların, Endüstri 4.0 tipi üretime geçmeleri olanaklıdır. Bu üretim tarzının benimsenmesindeki temel gerekçeler; küreselleşen üretim, talep çeşitliliği ve bu durumdan kaynaklı ham madde sağlama konusunda yaşanan karışıklık, hızlı ve verimli üretim isteği ile birleşince Endüstri 4,0 güvenilir bir liman olarak görülmektedir. “Yeni üretim tarzının oluşmasına zemin hazırlayan etmenler; dünya ve şehir nüfusunun giderek artması, yaşlanan toplumlar, küreselleşen ekonomi ve gelecekteki pazarlar, kaynakların azalması, değişen iklim, gelişen teknoloji ve yenilikler, şeklinde sıralanabilir.” (Bağcı, 2018) Gelişen teknolojinin sanayideki üretim alanlarında daha faydalı şekilde kullanılmasını sağlamak, Çin ve Hindistan gibi ucuz iş gücüyle üretim alanında kendini kanıtlayan ülkelere rekabet üstünlüğü kurmak Endüstri 4.0 ile birlikte amaçlanan hedefler arasındadır.

Endüstri 4.0 yapısı itibarıyla makinelerin ve akıllı cihazların üretimde başrol aldığı bir modeldir. İş görenlerin işsiz kalarak yerlerini makinelere devretmesi konusu sürekli gündemdedir. “Endüstri 4.0 ülkemiz piyasalarında kabul görmeden önce, herkesin aklına robotların yaşatacağı istihdam problemleri gelmiştir. İnsanların kas yapısını zorlayan işlerde çalışmak yerine daha çok bilgi, karar ve yön verme, yönetme ve sürekli uygulama-geliştirme yapacakları, bir iş modeli ile karşılaşacakları günler çok uzak görünmüyor.” (Taş, 2018) Mavi yaka çalışanlarının sayılarının düşeceği, yerine yönetici ve mühendis istihdamı sağlanacağı öngörülmektedir. Buna dayanarak Endüstri 4.0 dönemine tutunmak için bu dönemin dinamiklerine cevap veren davranışları en üst düzeyde geliştirmek, potansiyel iş gücünü daha vasıflı bir hale getirmek için nitelikli eğitim almak gerekmektedir. Geçmiş Sanayi Devrimlerinin başlarında da makinelerin insanların yerini alacağı kaygısı hep doğmuştur. Fakat

değişen üretim sistemleri yeni iş modelleri oluşturmuş ve çeşitli becerilerin gelişmesine olanak sağlamıştır.

Sensor teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, nesnelerin interneti sayesinde birbiriyle iletişim kuran akıllı cihazlar geleneksel üretim yapan fabrikaların bazı sorunlarına çözüm olup yeni üretim yöntemleri geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Akıllı fabrikalarda kurulan ağ sistemleri sayesinde birbirleriyle haberleşip ayrı yapılara bölünmüş olan bütün sistemler bir bütün olarak hareket edebilmektedir. 21. yüzyılın başlarında robotik alanına yaşanan ilerleme, gömülü sistemler, yazılım alanında ilerleme sağlanması, ışık hızında internet olarak nitelendirilen fiber internet altyapıları bir bütün haline gelip Dördüncü Sanayi Devrimi'ni başlatmıştır.

2. ENDÜSTRİ 4.0 ORTAYA ÇIKIŞI VE ÖNCEKİ ENDÜSTRİ DEVRİMLERİ

Sanayi devrimleri, insanlık tarihinin ekonomik ve teknolojik gelişimini şekillendiren dönüm noktaları olmuştur. İlk Sanayi Devrimi, buhar gücünün üretimde kullanılmasıyla başlamış ve makineleşmenin temelini atmıştır. Bu dönem, manuel üretim süreçlerinin yerini mekanik sistemlere bırakmasıyla üretimde büyük bir devrim yaratmıştır. İkinci Sanayi Devrimi ise elektrik enerjisinin sanayide kullanılmaya başlanmasıyla gerçekleşmiştir. Elektrik, üretim hatlarının daha verimli ve hızlı çalışmasını sağlamış, seri üretimin önünü açmıştır. Bu dönemde fabrikalarda büyük bir dönüşüm yaşanmış ve üretim modelleri modern bir yapıya bürünmüştür. Üçüncü Sanayi Devrimi, elektronik cihazların ve bilgi teknolojilerinin sanayiye entegre edilmesiyle yaşanmıştır. Otomasyon sistemleri bu dönemde hız kazanmış, üretim süreçleri daha kontrollü ve verimli hale gelmiştir. Mikroişlemcilerin ve bilgisayarların üretime dahil olması, bu devrimin en belirgin özelliklerindedir. Günümüzde ise sanayi, Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ile bir kez daha köklü bir değişim yaşamaktadır. İnternet ağları sayesinde, insan kontrolüne ihtiyaç duymadan kendi aralarında iletişim kuran makinelerin üretimde aktif rol aldığı bir dönem başlamıştır. Endüstri 4.0 mevcut üretim yöntemlerinin aksine insandan kısmen bağımsız olmasıyla fark oluşturmaktadır. Endüstri 4.0'ın amaçladığı hedefler üretim alanlarından bağımsız yerlerde üretimi kontrol etmek, insan bazlı hataları en aza indirmek veya ortadan kaldırmaktır. Kusursuz ve esnek üretim, enerji tasarrufu gibi kavramlar bu yeni üretim modelinin avantajlar kümesini oluşturmaktadır.

“Endüstri 4.0 devriminin arka planında teknolojinin yanı sıra bazı demografik ve ekonomik nedenler de yer almaktadır. Avrupa ülkeleri, giderek büyüme gösteren Çin ekonomisinden üstün olmak için nüfus açığını kapatmak yerine Çin'in en güçlü olduğu alan

olan mavi yaka iş gücünü hedefe koymuştur. Endüstri 4.0 mavi yaka çalışan oranını azaltıp beyaz yaka çalışan sayısını arttıracaktır” (Asiltürk, 2018). Kendi ekonomisini güçlendirmek ve imalat alanında kendini kanıtlamak amacıyla üretimde yeni bir yöntem arayan Alman Hükümeti 2008 yılında akademisyenleri ve üretim sektöründeki güçlü sanayicileri bir araya getirmiştir. Gizli bir şekilde yürütülen çalışmaların sonucunda ilk kez 2011 yılında bir endüstri fuarı olan Hannover Fuarı’nda dünyaya duyurulmuştur (Alçın, 2016: 47).

2012 yılının ekim ayında Robert Bosch GmbH ve Kagermann adı verilen çalışma grubu oluşturdukları Endüstri 4.0 raporunu Alman Hükümeti’ne iletmıştır. 8 Nisan 2013 tarihli Hannover Fuarı’nda aynı ekip Endüstri 4.0 raporunu dünya kamuoyuyla paylaşmıştır. Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi’nin (Acatech) başkanlarından birisi olan Henning Kagermann’ın 2011 yılında Endüstri 4.0 hakkında yazmış olduğu makalesi kuramsal başlangıç olarak esas alınmaktadır. “Almanya 4. Endüstri devrimi için geliştirdiği devlet politikaları ve Endüstri 4.0 çalışmalarını verdiği önem sebebiyle Endüstri 4.0 konusunda lider durumdadır. Bünyesinde barındırdığı dev markaların hem ülke ekonomisine hem de ülke istihdamına sağladığı katkılar, uyguladığı stratejiler bu öncülüğü fazlasıyla ispatlamaktadır.” (Yıldız, 2018)

Endüstri 4.0 yeni iş modellerinin doğumuna da öncülük etmiştir. Bu devrim gerekli mühendislik becerilerine sahip insan kaynağına gereksinim duyulmasına yol açmıştır. Endüstriyel bilgisayar programcılığı, endüstriyel robot operatörlüğü, veri güvenliği uzmanı ve mühendisliği, şebeke geliştirme mühendisliği, üç boyutlu yazıcı mühendisliği, bulut hesaplama uzmanlığı gibi birçok mesleği geliştirmiş veya ortaya çıkartmıştır.

2.1 Önceki Sanayi Devrimleri ve Endüstri 4.0

Dünya gelişen teknoloji ile evrilen dört büyük Sanayi Devrimi’ne sahiptir. Bu dönemler içerisinde kullanılan üretim metotları ve enerji kaynakları çeşitlilik göstermiştir. Her dönem bir önceki dönemin dinamiklerini taşımakla birlikte daha gelişmiş versiyonu olarak sahneye çıkmıştır. Verimlilik ön planda tutulmuş, geliştirilen icatlar ve üretim hatlarında kullanılmak üzere keşfedilen enerji kaynakları dönem geçişlerinde başrol oynamıştır. Birinci Sanayi Devrimi sırasında kullanılan enerji kaynakları kömür, su ve buhar gücüyken Endüstri 2.0 döneminde petrol tabanlı içten yanmalı motorlar ve elektrik üretimde kullanılmıştır. İlk defa otomotiv sektöründe üretim bandı sistemi kullanılmış ve fabrikalar elektrik ile çalışmaya başlamıştır. 20. yüzyılın ortalarında başlayan Üçüncü Sanayi Devrimi dönemine elektronik cihazların üretime katılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi), otomasyonun hızlanması damga vurmuştur. “Gerçekleşen devrimler; fosil

yakıtlar, yeni enerji kaynakları, kullanım teknolojileri, yeni ulaşım ve lojistik teknolojileri, iletişim teknolojileri üzerine kurulmuş ve insanlık tarihinde birer dönüm noktası olmuşlardır. İnsanlar önceleri enerji kaynağı olarak buhar ve kömür gücü kullanırken sonralarda petrolün devreye girmesiyle büyük bir adım atıp endüstrinin gelişimine katkı sağlamışlardır. Ancak yaşayan nüfus artmış ve bu nedenden ötürü hâlihazırda bulunan kaynaklar hızla tükenmiştir, bu durum endüstri uygarlığının artık bir kavşağa geldiğini göstermektedir.” (Davutoğlu, 2020)

Dördüncü Sanayi Devrimi’ni diğer dönemlerden ayıran en temel özellikler üretimin tam otomasyon olup, fiziksel ve dijital sistemlerin arasında bağlantı kurulmasını sağlayan Siber-Fiziksel Üretim Sistemlerinin geliştirilmesi ve insanın fiziki gücüne duyulan ihtiyacın azalmasıdır. Önceki dönemler incelendiğinde kullanılan metotlar iş gücü gerektirirken, robot teknolojilerinin gelişmesi, internet ağlarının hız kazanması, birbirleriyle haberleşen robotize olmuş makinelerin üretimi gerçekleştirmesi bu dönemi diğerlerinden ayırmaktadır. Önceki Sanayi Devrimlerinde verimlilik ön plandayken Endüstri 4.0’da verimliliğin yanı sıra ucuz iş gücüyle rekabet etmek ve sanayi ekonomisini büyütmek başlangıç politikaları arasında yer almaktadır. Bu yüzden Endüstri 4.0 mavi yaka iş gücüne olan ihtiyacı azaltıp, verileri işleyebilen nitelikli insanlara dayalı bir üretim sistemi kurmayı amaçlamaktadır. Makinelerin sensörler yardımıyla algıladıkları verileri bilgisayar sistemleri üzerinden ve insanlardan bağımsız olarak işlemesi uzaktan fabrika kontrolü kavramını doğurmuştur (Özışık ve Şahin, 2022).

Endüstri 4.0 ile birlikte iş hayatının da şekilleneceği öngörülmektedir. Fabrika ortamında çalışanlar uzaktaki ofislerden Nesnelerin İnterneti kavramının temelinde olan makinelerin birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı iletişim kurma ve birlikte koordineli bir çalışma yürütme olanağı sayesinde fabrikaları yönetebileceklerdir. Ofis kavramı önem kazanacak üretimin başlangıcından pazarlanmasına kadar bütün aşamalar ofislerden yönetilebilecektir. Uzaktan erişim imkânının olması, zaman kısıtlamasına ve mekân sıkıntısına engel olmaktadır. “Çalışma hayatında gerçekleşecek olan yenilikler, şirketlerin gelişmesi, yeni yönetim anlayışlarının ve organizasyon şemalarının, altyapıların değişmesi, çalışanların işlevsellik yetenekleri ve algıları, yöneticilere işgücü maliyeti (karanlık fabrikalarda, çalışan yok ve çalışan giderleri yok) süreçler, müşteri çeşitliliği ve davranışları ve istekler şimdilerde yeni bir durum olan Endüstri 4.0’ın yüksek teknolojik ilerlemenin yardımıyla revize edilip bir karaktere bürünecektir.” (Fırat ve Fırat, 2017)

“Endüstri 4.0, günümüz bilgi toplumunda üretim tekniklerini, tedarik, dağıtım sistemlerini, verimlilikleri, üretim yapılarını, rekabet stratejilerini, yaşam tarzlarını ve biçimlerini etkileyecektir. Bu sebeple değişimi ve dönüşümü doğru yönetmek oldukça önemli

bir hâle gelmiştir. Endüstri 4.0 ile oluşturulacak akıllı üretim sistemleri, akıllı şehir, lojistik, ev, şebeke unsurlarının sosyal ağlar ile e-ticaret ağlarının birleşmesi sonucu hizmetler, veriler, nesnelere ve kişilerin internet ortamı aracılığıyla kuracağı ekosistemde yer alan ağın önümüzdeki çeyrek yüzyılda küresel ticaret hacmini yaklaşık %40 oranında etkileyeceği beklenmektedir” (Metesen, 2021).

2.2 Endüstri 4.0’ın Ayırt Edici Özellikleri

Endüstri 4.0 Dönemi, üretim alanında kabul görmüş bütün kuralları ve örgütsel düzeydeki işleyişleri değişikliğe sürükleyen bir adımdır. Ham maddeden son ürüne giden yolculuğu müşterilerin taleplerine göre şekillendirip, maddi kayıpları azaltan ve en hızlı şekilde sonuçlandıran bir yapıdır. Gelişen ve sürekli kendini yenileyen teknoloji sayesinde diğer dönemlerin aksine çok daha hızlı bir ilerleme kaydedilmektedir. Bu dönemin getirileri ekonomiyi, toplumsal gelişmeyi ve iş hayatını çok yönlü bir biçimde etkilemiştir.

“Endüstri 4.0’ın hayatımıza girmesi ile birlikte, robotik teknolojiler, yapay zekâ, akıllı üretim, büyük veri, 3D yazıcılar, bulut bilişim ve nesnelerin interneti gibi alanlarda ortaya çıkan gelişmeler, sanayide yeni bir dönüşümün yolunu açacaktır. Endüstri 4.0, üretimde ucuzlamaya, hızlanmaya, kişisel talebe özel üretim yapılmasına imkân tanıyan bir sistemdir. Enerji tüketimi, fazla stok, hata gibi parametreleri en aza indirgeyen, dijital, üretim sistemidir” (Tonga ve Tonga, 2022).

Mario Hermann, Tobias Pentek ve Boris Otto Endüstri 4.0’ın ayırt edici tasarım ilkelerinden bahsetmişlerdir. Birlikte çalışabilirlik ilkesi, Endüstri 4.0’ın çok önemli bir sağlayıcısıdır. Şirketlerde akıllı cihazlar ve insanlar belirli standartlar dahilinde nesnelerin interneti üzerinden birbirlerine bağlıdır. Bu birlikteliğin en iyi şekilde sağlanması şirketler açısından bir başarı faktörüdür. Akıllı fabrikaların kurulması açısından önemli bir ilkedir.

Sanallaştırma, siber fiziksel sistemlerin süreçleri izleyebileceği anlamına gelen bir ilkedir. Sensör verileri sanal tesis ve simülasyon modelleri ile bağlantılıdır. Böylece fiziksel dünyanın sanal bir kopyası oluşturulur. Arıza anında çalışanlara haber veren bir sonraki çalışmayı ve güvenlik düzenlemelerini sağlayan bir yapıdır. Bu sayede çalışanlar artan teknik karmaşıklığın üstesinden gelmek adına bu yöntemle desteklenmektedir. Belli bir merkeze bağlı olmadan yönetim, ürünlerin çeşitliliği ve talep giderek artmakta olduğu için işleri merkezi olarak kontrol etmek gittikçe zorlaşmaktadır. Siber fiziksel sistemlerin bağımsız çalışması, kaliteli üretim ve izlenebilirlik için tüm sistemlerin her an takip edilmesi anlamına gelmektedir. Gerçek zamanlı veri, organizasyonel görevler için verilerin gerçek zamanlı toplanması ve analiz

edilmesi gerekmektedir. Tesisin durumu sürekli izlenir ve analiz edilir. Böylece, tesis bir makinenin arızasına tepki verilebilir ve üretim bandındaki ürünleri başka bir makineye yönlendirebilir.

Tablo 1: Endüstri 4.0 Bileşeninin Tasarım İlkeleri Gösterilmektedir

	Siber Fiziksel Sistemler	Nesnelerin İnterneti	Hizmetlerin İnterneti	Akıllı Fabrika
Birlikte Çalışabilirlik	X	X	X	X
Sanallaştırma	X	-	-	X
Merkeziyetsizleştirme	X	-	-	X
Gerçek Zamanlı İşleyiş	-	-	-	X
Hizmet Odaklılık	-	-	X	-
Modülerlik	-	-	X	-

Endüstri 4.0'ın temel hedefi, insansız üretim süreçlerini mümkün kılmaktır. Bu yeni üretim sistemi, insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltırken, insanların yaratıcılığını, bilgi ve birikimini üretime entegre etmeyi amaçlamaktadır. Bilişim teknolojilerindeki hızlı ilerleme ile birlikte, akıllı fabrikaların devri başlamaktadır. Bu dönemde, makineler her bileşeniyle birbiriyle iletişim kurabilecek, otonom kararlar alabilecek ve kendilerini denetleyebilecek üretim sistemleri hayata geçirilecektir. Bu dönüşüm, üretim süreçlerinde hem verimliliği artıracak hem de yenilikçi bir endüstriyel yaklaşımı mümkün kılacaktır. Yüksek teknoloji ile donatılmış, birbiriyle haberleşebilen ve insan gücüne daha az bağımlı fabrikaların oluşturulmasını hedefleyen bu sistemde, robotlar üretimde daha etkin roller üstlenmektedir. Böylece kaliteli, düşük maliyetli, hızlı ve minimum israfla üretim yapılması sağlanmaktadır. (Metesen, 2021).

Akıllı fabrikalar gerçek zamanlı verileri toplayabilmeli, depolayabilmeli ve bunları analiz edebilen cihazlarla donatılmalıdır. Hizmet odaklılık, ortaya konulan hizmetlerde müşteri memnuniyeti esas alınmakta ve taleplere odaklı bir üretim benimsenmektedir. Modüler sistem,

değişen gereksinimlere esnek bir şekilde uyum sağlayabilmektir. Modüler sistemler birçok neden yüzünden değişen ürün özelliklerine göre kolayca ayarlanabilmektedir. Tak çalıştır prensibi kullanılarak yeni modüller eklenebilmektedir, standartlaştırılmış yazılım ve donanım ara yüzlerine dayanmaktadır. Yeni modüller otomatik olarak tanımlanır ve nesnelerin interneti sayesinde hemen kullanılabilir. Endüstri 4.0 sözü geçen bu ilkelerin bir bütün olarak hayata geçmesi esasına dayanmaktadır.

2.3 Endüstri 4.0'ın Çalışma Hayatına Etkileri: Güçlü ve Zayıf Yönleri

Endüstri 4.0'ı oluşturan temel yapı taşlarının ekonomiye, istihdama, değişen işgücüne yönelik etkileri vardır. Bu etkiler Endüstri 4.0'ın güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkartmaktadır. Başlıca yaratmış olduğu etki, işin gerçekleştirilme sürecindeki aşamaların değişmesi yani işgücünün yeni çalışma ortamına ve koşullarına göre şekillenmesidir. Yapay zekâyla kodlanmış robotlar, birbirleriyle haberleşen cihazlar, gerçek zamanlı büyük veri ve depolama teknolojileri bir bütün olarak hareket ettiğinde akıllı fabrikalar ortaya çıkmaktadır. Akıllı fabrikaların ortaya çıkması, şirketler arası eşitsizliklere, mavi yaka işgücü istihdamının azalmasına sebep olmaktadır. Tekrarlayan işlerin olduğu ve otomasyonun kullanabileceği iş yerlerinde, ihtiyaç duyulan iş gücü değişmekte, belli alanlarda yeni geliştirilen teknolojiler insanların yerini almaktadır. Bunun nedeni kullanılan teknolojilerin ve yapılacak işe göre tasarlanan robotların kalite, güvenlik, kontrol ve daha az maliyetle işi bitirme gibi hususlarda insanlardan daha başarılı olmalarıdır. Endüstri 4.0 dinamiklerinin kullanım amaçları doğrultusunda yarattıkları olumlu etkiler insanlar tarafından sağlanamaz durumdadır, akıllı cihazların gerçek zamanlı haberleşip üretimi kontrol etmeleri, elde edilen verilerin bulut teknolojileri yardımıyla depolanmaları gibi durumlar üretim açısından olumlu bir etki yaratsa da işgücü istihdamı açısından değişikliğe sebebiyet vermektedir. İşgücü fiziksel işgücünden eğitime dayalı akıl gücüne evrilmektedir. Bu teknolojik dinamiklerin kullanımı becerisel ve işlevsel işgücüne ihtiyaç duymaktadır. Üretimin otomasyonlaşması tekrarlayan işleri gerçekleştiren işçilerin iş durumlarını tehlikeye atarken mühendislik becerisi gelişmiş olan insanlara istihdam sağlamaktadır. “Endüstri 4.0'a gelene kadar geliştirilen teknolojiler hayatımızın birçok noktasında yer almaktadır. Robotlar otomotiv sektöründe yıllardır araba boyamada, çok ağır metal parçaların taşınmasında ve bunların montajında kullanılmaktadırlar. Endüstri 4,0, robotların bu alanlarda kullanımı ile ortaya çıkan faydayı ve mevcut teknolojilerin üzerine geliştirilecek yeni teknolojileri ekleyerek daha üst seviyelere çıkarmayı hedefleyen bir süreçtir. Bu süreç sayesinde beyin gücünün kullanımı, hatasız imalat, insan gücünden tasarruf, düşük

maliyet, verimlilik, sürdürülebilirlik, müşteri memnuniyeti gibi pek çok olumlu katkı yapması beklenmektedir” (Tonga ve Tonga, 2022).

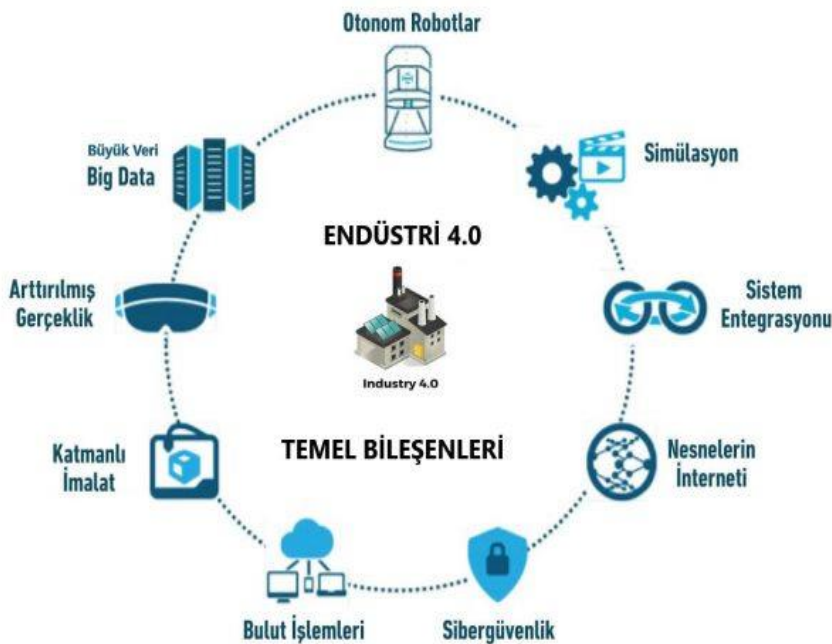
Endüstrilerin gelişim süreçleri incelendiğinde el emeğine duyulan ihtiyaç giderek azalmakta, üretim daha verimli hale gelip serileşmekte ve üretilen ürünlerin fiyatları azalmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileriyle birlikte sağlanan üretim kapasitesi genişleyecek, sağlanan hizmetlerin ve son ürünlerin fiyatları her kesime hitap etmeye başlayacaktır. Ürün fiyatlarında düşüş yaşanması talebinin artmasına ve ekonominin olumlu yönde ivme kazanmasına neden olacaktır. Endüstri 4.0’ın ekonomi açısından sağlamış olduğu bu olumlu tutum onun güçlü yanlarından birisidir. Fakat ekonomik olarak alt sınıfta bulunan insanlar bu üretim bolluğundan fayda sağlayamayacak, dönemin işgücüne etkisi yüzünden işsiz kalan insanlar için değişken bir tutum sergilemeyecektir. Ekonomik açıdan bir diğer etkisi ise şirketler üzerinde olacaktır. Bu dönemin dinamiklerine uyum sağlayamayan şirketler rekabet sahalarında geri planda kalacak ve sürekliliklerini tehlikeye atacaktırlar. “Endüstri 4.0 sürecinde şirketlere dair bir diğer ayrıntı, bilişim sektörüne yatırım yapanların kısa sürede daha hızlı kazançlar sağlamasıdır. Veri, günümüzün petrolü olarak görülebilir. Veri üzerine yönelen ve uzmanlaşan şirketlerin daha şanslı olduğu söylenebilir. Hâlihazırdaki yatırım trendinin de enerji sektörüyle birlikte bilişim sektörü olduğu düşünülürse, olası bir rekabetin acımasızlığı da öngörülebilir.” (İri, 2020)

Özetlemek gerekirse Endüstri 4.0’ın, artan üretim kapasitesi, verimlilik, kalite, düşük maliyetli üretim, esnek imalat olanağı ve bu sayede artan ürün çeşitliliği, üretim süreçlerinin kolay gözlemlenebilir olması, enerjinin daha verimli kullanılması, satış sonrası takip ve hizmet konularında müşteri memnuniyeti sağlanması ve yüksek yetenek gerektiren işlerde istihdam sağlanması gibi durumlar konusunda güçlü bir yönü vardır. Fakat Endüstri 4.0’ın güçlü yanlarının yanı sıra zayıf ve olumsuz durumlara sebebiyet verecek taraflarının olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin depolanan verilerin internet ortamından gelebilecek tehlikelere açık olup güvenlik açığı ve veri hırsızlığına yol açabilecek olması. Endüstri 4.0 dinamiklerinin bir fabrikaya entegre edilmesinin maliyetli oluşu ve bu durumdan dolayı küçük, orta işletmelerde rekabet açısından geri planda kalma durumu. Fiziksel işgücünün azalması yüzünden işsiz kalacak olan insanlar. Bu gibi durumlar Endüstri 4.0’ın zayıf yönlerine örnektir. Endüstri 4.0’ın olumlu veya olumsuz etkilerinin ortaya çıkması döneme ne kadar hızlı adapte olduğuyula ilgilidir. Yukarıda bahsi geçen etkiler bu dönemin güçlü ve zayıf yönlerini yansıttığı düşünülmektedir.

3. ENDÜSTRİ 4.0 BİLEŞENLERİ

“Tarih boyunca yaşanan Endüstri Devrimleri gözden geçirildiğinde geçişler arasındaki en önemli unsur, teknolojiye yaşanan ilerlemelerin neden olduğu yeni üretim yöntemlerinin daha verimli bir üretimi piyasaya çıkartmasıdır.” (Düzkaya, 2016) Dördüncü Sanayi Devrimi'nin en temel amacı üretim süreçlerini bütünüyle yönetebilen, kendi kendini idare eden akıllı fabrikaların oluşturulmasıdır. Akıllı fabrikaların oluşturulmasında görev alan teknolojilerin bir bütün halinde hareket edebilmesi için “Siber Fiziksel Sistemlere” ve “Nesnelerin İnternetine” büyük görev düşmektedir. Bir şirketin Endüstri 4.0 dönüşümünü gerçekleştirmesi içinde bulundurduğu teknolojik kavramları ne kadar benimseyip hayata geçirdiğine bağlıdır. Bunlardan bazıları insanların günlük hayatlarında kullandığı teknolojilerdir. Gelişmiş bilişim teknolojilerinin sanayide verimliliği, hızı ve kaliteyi arttırması, problemlere anında çözüm üretebilmesi ve esnek üretim modellerinin geliştirilmesi gibi konularda fayda sağlayacağı tahmin edilmektedir. Geleneksel üretim modellerinin açıkları Endüstri 4.0 teknolojileriyle birlikte kapanmaktadır. Örneğin, üretim hatlarında sensörlerin topladığı verileri analiz eden robotların kontrolü en başarılı şekilde yapması, fiziksel bir güce dayanmadığı için yorulma, sıkılma, memnuniyetsizlik, stres gibi insani unsurları barındırmaması kaliteli ürünleri ortaya çıkartmaktadır. Şekil'1 de Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri gösterilmektedir.

Şekil 1: Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri



Kaynak: Şen, 2022

Endüstri 4.0 temelinde, üretim aşamalarında rol oynayan her birimin birbirleriyle iletişim halinde olmasına, gerçek zamanlı verilerin üretim anında analiz edilip üretim hatlarının kontrol edilmesine, üretim sonrasındaki hizmetin takip edilmesine ve bu unsurların birlikteliğinden en yüksek verimliliğe ulaşılmasına dayanmaktadır. Endüstri 4.0 kavramı birçok bileşenden oluşan bir yapıdır. Bu alt temel bileşenler şunlardır (Türkmen ve Akar, 2021):

- Büyük Veri
- Siber Fiziksel Sistemler
- Robot ve Yapay Zekâ Teknolojileri
- Bulut Teknolojisi
- Sanal Gerçeklik
- Katmanlı Üretim (3D Printer)
- Siber Güvenlik
- Nesnelerin İnterneti
- Sistem Entegrasyonu
- Artırılmış Sanal Gerçeklik

Endüstri 4.0 karmaşık ve birlikteliğe dayanan yapısından dolayı geniş bir yelpazeye sahiptir. Endüstri 4.0'ın getirileri değerlendirilmeden önce onu oluşturan teknolojik bileşenlere ayrı ayrı odaklanmak ve bu bileşenlerin öğrenilmesi Dördüncü Sanayi Devrimi'nin gelişmesi açısından oldukça önemlidir. Yukarıda belirtilen bu kavramlar Endüstri 4.0'ın ayrılmaz parçaları olduğunu söylemek mümkündür.

3.1 Büyük Veri (Big Data)

Günümüz dünyasında teknoloji ilerlemekte ve internete bağlanabilen cihaz sayısı artmaktadır. Bu durum bilgiye erişimi oldukça basite hale getirmiştir. Gerek sosyal medya araçlarından gerekse çeşitli internet sitelerinden bilgi paylaşmak ve bu mecralardan bilgiye erişmek zamanla yaygınlaşmıştır. Bu durum ortada dolaşan gereksiz ve yanlış bilgilerin çoğalmasına, bir bilgi çöplüğü oluşmasına sebep olmaktadır. Geliştirilen teknolojiler sayesinde oluşan bu bilgi kirliliğinin içerisinden doğru ve yararlı olanları ayıklamak mümkün gözükmemektedir. “Bu bağlamda büyük veri; “toplumsal medya paylaşımları, ağ günlükleri, blog, fotoğraf, video, log dosyaları vb. gibi değişik kaynaklardan toparlanan tüm verinin, anlamlı ve işlenebilir biçime dönüştürülmüş biçimi” olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri; web

sunucularının logları, internet istatistikleri, sosyal medya yayınları, bloglar, mikrobloglar, iklim algılayıcıları ve benzer sensörlerden gelen bilgiler, GSM operatörlerinden elde edilen arama kayıtları gibi büyük sayıda bilgiden oluşmaktadır.” (EBSO, 2015)

Endüstri 4.0 dönüşümü gerçekleşirken “Büyük Veri” kullanımı gerçek verilerin analizine dayandığında; gerçekleştirilen işlerde gerçek zamanlı hataların tespitine, giderlerin azaltılmasına, satışa çıkacak ürünlerin kime hitap edeceğinin belirlenmesi ve ona göre reklam kampanyaları uygulanmasına, satışa sunulan ürünün pazardaki durumu sağlanan veriler sayesinde analiz edilip raporlanabilecek ve alınan ilerletici kararlar güçlenecektir. Ayrıca büyük veri kavramı sadece ticari faaliyet gösteren firmalar için değil ulusal ekonomik dengeler ve kamu kuruluşları içinde önemli bir yere sahiptir. Bankacılık sektöründe müşterilerin iyi anlaşılıp memnun edilmeleri ve sahtekârlığın önlenmesi için başvurulabilecek yöntemler arasındadır. Devlet sahip olduğu büyük verisel kaynakları doğru analizlerle ayıklayabilirse; suçların önlenmesi, sağlanan hizmetlerin yönetilmesi, işleyişin düzenlenmesi, ihtiyaçların belirlenmesi gibi konular daha kolay çözüme kavuşabilecektir. Üretim alanında faaliyet gösteren firmalar müşterilerinin potansiyellerini büyük veri analizleri yardımıyla ortaya çıkartabilir, kayıpları azaltabilir ve rakiplerine avantaj sağlayabilirler. Eğitim alanında eksiklerin giderilmesi, eğitim yöntemlerinin doğru seçilmesi büyük veri analizleriyle kolaylaşır. Sağlık sektörü içerisinde birçok veri birikimi yaşanmaktadır. Doğru bilgilerin ayıklanması; hastaların önceki durumlarının mevcut durumlarına göre karşılaştırılması, yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi, tedavinin doğru ve hızlı şekilde halledilmesine olanak sağlar.

Büyük veriyi oluşturan bileşenler şu şekildedir; çeşitlilik (variety), hız (velocity), hacim (volume), doğrulama (verification), değer (value). Çeşitlilik, farklı formatlara sahip verilerin bir araya gelmesiyle oluşur. Oluşan veriler farklı kaynaklardan ve farklı maksatlarla üretilen verilerdir. Hız, üretilen verilerin hızının aynı oranda analiz edilebilmesi durumunu ifade eder. Hacim, her geçen gün veri miktarı artış göstermektedir ve verilerin depolanmasının doğru bir şekilde yapılandırılması gerekmektedir bunun için yapılan harcamalar gün geçtikçe artmaktadır. Doğrulama, bütünlüğü sağlanamamış, eksik kalmış verilerin ayıklanması. Verilerin hangi şartlarda kimler tarafından görülmesi gerektiği ve gizli kalması gereken verilerin nasıl korunacağı önemsenmesi gereken konular arasındadır. Değer, bilgilerin doğru şekilde analiz edilip kullanacak şirkete katacağı faydayı temsil eder. Doğru kullanıldığı takdirde en önemli bileşen haline gelip birçok fayda sağlamaktadır.

Büyük veri, modern iş dünyasında kritik bir rol oynamakta ve birçok alanda önemli avantajlar sunmaktadır. Öncelikle, büyük veri analitiği, üretim yöntemlerinin iyileştirilmesinde ve geliştirilmesinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Verilerin toplanması ve analizi

sayesinde, işletmeler üretim süreçlerini optimize edebilir; bu da hem maliyetleri düşürür hem de kaliteyi artırır. Ayrıca, büyük veri, müşteri memnuniyetinin artırılması sürecinde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Satış öncesi ve sonrası müşteri deneyimlerini analiz ederek, işletmeler, müşterilerin beklentilerini daha iyi anlayabilir ve onların ihtiyaçları doğrultusunda stratejik adımlar atabilirler. Bu sayede, müşteri sadakati sağlanır ve brandanın pazar konumu güçlendirilir.

Bunun yanı sıra, iş süreçlerinin doğru bir şekilde planlanması ve yönetilmesi için büyük veri, önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Verilerin analizi, işletmelere iş akışlarını hızlandırma ve verimliliği artırma fırsatı sunar. Bu da işletmelerin daha esnek ve hızlı yanıt verebilir hale gelmesini sağlar. İhtiyaca uygun yeni ürünlerin geliştirilmesi ve mevcut ürünlerin tüketici taleplerine göre uyarlanması da büyük verinin sunduğu bir diğer fırsattır. Veriler üzerinden elde edilen içgörüler, iş geliştirme süreçlerini yönlendirebilir ve inovatif çözümler üretilmesine katkıda bulunabilir. Böylece, işletmeler sadece mevcut ürünlerini değil, aynı zamanda yeni ürün portföylerini de etkili bir şekilde genişletebilir. Ayrıca, mevcut kazancın artırılması ve son ürünün pazara sürülmesi aşamalarının yönetilmesinde de büyük veri büyük bir fayda sağlamaktadır. Müşteri davranışları, pazar trendleri ve rekabet analizi gibi veriler, işletmelere daha etkili pazarlama stratejileri geliştirme ve pazar ihtiyaçlarına uygun ürün dağıtımını optimize etme konusunda yardımcı olur. Sonuç olarak, büyük veri kullanımı, işletmelerin rekabetçiliklerini artırmalarını ve sürdürülebilir büyüme hedeflerini gerçekleştirmelerini sağlamaktadır.

3.2 Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems)

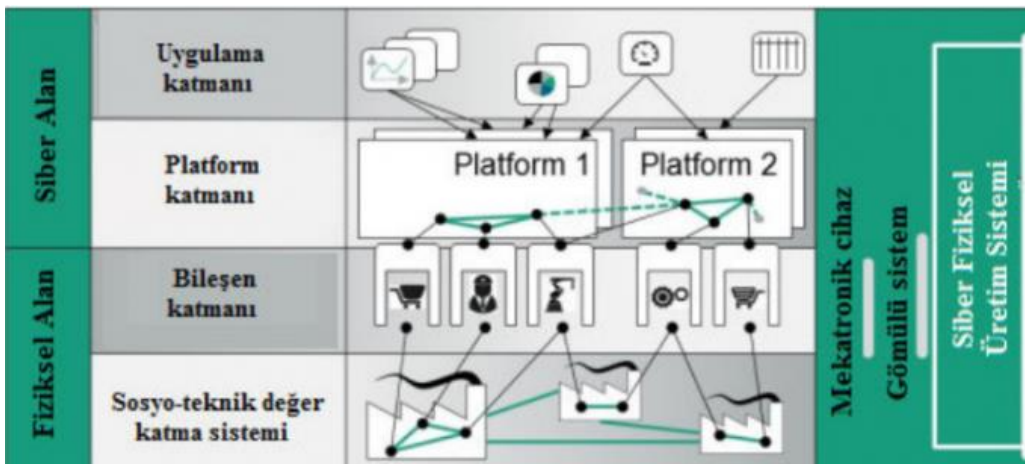
“Siber fiziksel sistemler, bilişim teknolojileri yardımıyla mekanik ve elektronik sistemler arasında bağlantı kurarak, her birinin oluşturulmuş bir ağ sistemi içinde birbirleriyle iletişim kurmasını ve bu durumun sürekli kalmasını sağlar. Bu teknolojilerin ilk örneği, 1999 da kullanıma giren RFID* teknolojisidir. Siber fiziksel sistemler yalnızca ağ makinelerinden oluşmayıp, makineler, akıllı ve esnek ürünler, çalışanlar, müşteriler yani tüm değer zincirinde ve ürün döngüsünde yer alan her şeyi kapsayan bir akıllı ağ yaratırlar. Akıllı ağlar, Endüstri 4.0’ı destekleyen akıllı fabrikaların en önemli alt yapı taşlarıdır.” (Fırat ve Fırat, 2017)

“Kavram olarak “siber” (cyber), sibernetik (cybernetics) olarak bilinir. Organik yaşam formları ve makineler arasındaki iletişimi geliştirmeyi ve araştırmayı konu edinmiş bilimsel

* **RFID:** Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemidir.

disiplinden türemiştir. 1940’lar ile birlikte “siber” kavramı genellikle, haberleşme teknolojileri, bilgisayarlar ve internete dayalı kontrol süreçlerini anlatmak için kullanılmıştır.” (Alçın, 2016) Endüstri 4.0, işletmelerdeki süreçleri insansız hale getirmeyi amaçlar. Temel bileşenlerinden birisi olan “Siber Fiziksel Sistemler (SFS)”, makinelerin, robotların uygulama alanlarında sundukları hizmetleri siber teknoloji ile bütünleştirmek üzerine tasarlanmıştır. Siber fiziksel sistemlerin amacı gerçek ve sanal ortam arasındaki sınırı kaldırmaktır. Fiziksel mekanizmalar, donatıldıkları sensörler aracılığıyla elde ettikleri verileri, internet hizmetleri yardımıyla siber ortama taşımaktadır. Gerçek ortam koşulları bu sayede bilgisayar ortamında simüle edilebilir hale gelmektedir. “Bir başka açıdan SFS; üretim süreçlerinde gözlem yapmayı, koordinasyon sağlamayı ve kontrol etme gibi temel prensiplerin, iletişim ve hesap yapma kavramlarının birleşiminden oluşan karma teknoloji tarafından yönetildiği sistemlerdir. Bahsi geçen karma teknoloji, siber teknolojilerin makinelere entegre edilmesiyle çok daha akıllı hale gelmektedir. Bu bağlamda, süreç bir bütün halinde siber-fiziksel sistemler olarak anılmaktadır.” (EBSO, 2015). Siber fiziksel sistemler mekatronik cihazlar ve gömülü sistemlerin bütünleşmesinden oluşur. Bu bütünleşme içerisinde sensörler, aktüatörler, insanlar ve siparişler aktif olarak rol almaktadır. Bağlantı ve iletişimi sağlayan platformlar ve ek işlemleri gerçekleştiren uygulamalar bu birlikteliğin içerisinde yer almaktadır. Kısaca SFS yukarıda bahsedilen bileşenlerin bir bütün halinde görev aldığı sistemleri tanımlayan kavramdır. Şekil 2’de Siber-fiziksel üretim sistemleri (Cyber-physical production systems-CPPS) gösterilmektedir.

Şekil 2: Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri (Cyber-Physical Production Systems-CPPS)



Kaynak: (Mekas Kablo, 2021)

Siber fiziksel sistemler, yukarıda bahsedilen tüm bileşenlerin uyumlu bir şekilde çalıştığı ve bir bütün olarak görev aldığı dinamik sistemleri tanımlayan kapsamlı bir kavramdır. Bu sistemler, çeşitli endüstriyel uygulamalardan akıllı şehirler ve otonom araçlar gibi daha yenilikçi çözümlere kadar geniş bir yelpazede modern teknolojilerin temelini oluşturmaktadır.

3.3 Nesnelerin İnterneti (IOT / Internet of Things)

Nesnelerin İnterneti IoT (Internet of Things), farklı fiziksel nesnelerin içinde bulunan gömülü sistemlerin internete ve birbirlerine bağlanmasını ifade eden kavramdır. Bu kavram oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Günlük hayatta ve iş hayatında kullanılan nesnelerin interneti kavramı oldukça farklı yönlere sahiptir. “Bu farklılığa dikkat çeken önemli isimlerden biri olan Moor Insights ve Strategy firması başkanı ve analisti Patrik Moorhead tarafından, “Endüstriyel Nesnelerin İnterneti” ve “İnsansal Nesnelerin İnterneti” biçiminde iki farklı tanımlama yapılmıştır.” (EBSO, 2015) Gündelik yaşamda kullandığımız nesnelerin interneti kavramı hayatımızı düzene sokmaya veya kolaylaştırmaya yöneliktir. Akıllı evlerde kullanılan teknolojiler, akıllı saatlerin elde ettiği verilerin akıllı telefonlarda işlenmesi gibi örnekler bu durumu özetlemektedir. Endüstride bu kavram daha çok, makinelerin ve akıllı cihazların birbirleriyle iletişim kurması, internet aracılığıyla elde ettikleri verileri bilgisayarlara aktarması ve üretimi pratikleştirmesi üzerine kurulmuştur.

“IoT’nin temelleri 1990’ların başında Weiser, (1993) tarafından önerilen “Her Zaman Her Yerde Hesaplama (Ubiquitous Computing)” kavramına dayanır. Nesnelerin interneti terimini ilk defa kullanan kişi ise MIT RFID araştırma grubunda yer alan Ashton, (2002) olmuştur” (Ercan ve Kutay, 2016). Cihazlar ortamlardan algıladıkları verileri toplayıp üzerinde işlem yapılması için göndermektedir. Nesnelere arasındaki bağlantı ilişkisi RFID, NFC, Wi-Fi, Bluetooth, GSM, GPRS, 3G/4G/5G ve LTE gibi teknolojiler ile sağlanmaktadır. Birbirleriyle iletişim halinde olan cihazlar görevlerini, fiziki bir müdahale olmadan gerçekleştirmektedir.

Endüstri 4.0 tipi üretimlerde nesnelerin interneti kavramı oldukça önemli bir konumdadır. Günümüzde kullanılan otomasyon teknolojileri bu kavram ile entegre olduğunda günümüz üretimine göre çok avantajlı bir üretim süreci oluşturur. İnsan gücüne ihtiyaç duyulan üretim alanlarında kullanılan makineler, akıllı cihazlarla modernize edildiğinde birbirleri ile haberleşip üretimi kontrol edip şekillendirir. Olası tehlikelerin veya üretimi aksatacak teknik problemlerin önüne geçilip üretim aksaklıkları önlenir. Fabrika ortamındaki genel işleyiş takip edilebilir, sipariş ve üretim yoğunluğunun gerçek zamanlı durumuna göre depo yoğunlukları takip edilebilir ve eksiklikler giderilebilir. Bu sayede birbirlerinden ayrı çalışan

makinelerin bir bütünü temsil ettiği fabrika ortamında işleyiş hakkında daha iyi kararlar alınabilir, zamandan tasarruf ve daha fazla gelir elde edilebilir.

Akıllı cihazların elde ettikleri veriler depolanacak ve gerektiğinde karşılaştırılabilecektir. İnsana bağlı hatalara en az düzeyde yer veren bu teknoloji üretim şekillendirecektir. Nesnelerin interneti, endüstriyel düzeyde; kalite, performans, enerji tasarrufu, hızlı ve kontrollü üretim, maliyet gibi alanlarda verimliliği artırıp güvenilir bir hizmet sunacaktır.

Nesnelerin İnterneti (IIoT), merkezi olmayan karar mekanizmaları geliştirmeyi hedefleyen bir kavramdır. Bu sistem, üretim süreçlerinde yer alan makinelerin kendi başlarına karar alabilme yeteneği ile donatılmasını sağlar. Böylece, makineler üretim hızlarını ve enerji tüketimlerini en verimli şekilde düzenleyebilirler. Bu tür makineler, üretim sistemine entegre edilmiş diğer cihazlarla fabrika içinde kurulan bir ağ üzerinden iletişim kurarak, işleyişlerine göre anlık kararlar alabilirler. Ayrıca, oluşan aksaklıklara veya değişken koşullara göre kendilerini ayarlayarak, üretim süreçlerinin kesintisiz ve verimli bir şekilde devam etmesine katkıda bulunurlar.

Makine iletişiminin bir diğer önemli amacı, müşteri taleplerindeki değişikliklerin gerçek zamanlı olarak üretim süreçlerine yansıtılmasıdır. Bu sayede, ürün için gerekli olan ham maddelerin mevcut durumu sürekli olarak kontrol edilebilir. Sipariş ve üretim süreçlerinin doğru bir şekilde entegre çalışması durumunda, gereksiz harcamaların önüne geçilir ve bu da rekabet ortamında önemli bir avantaj sağlar. Nesnelerin İnterneti kavramının endüstriyel alanda uygulanması, yeni iş modellerinin gelişimine de öncülük etmektedir. (Şener ve Elevli, 2017).

Verilerin derlenmesi ve akıllı tepkilerin verilebilmesi için, akıllı cihazlar arasında etkili bir dağıtım mekanizması kurulması gerekmektedir. Veri akışının hızlı ve anlamlı bir şekilde yönetilmesi için, nesnelerin interneti konseptine yön verebilecek yetenekli bireylerin yetiştirilmesi kritik öneme sahiptir. Her ne kadar veriler internet üzerinden taşınacak olsa da, kullanılacak cihazların çeşitliliği farklı platformların ve çeşitli altyapıların oluşmasına yol açacaktır. Bu durum, cihazların birbiriyle etkili bir iletişim kurabilmesi için uygun çözümleyicilere ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Sanal gerçeklik simülasyonları gibi gelişmeler düşünüldüğünde, veri çıkışının artacağı ve her yerin çözümlenmeyi bekleyen verilerle dolacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, bilişim sistemlerine hâkim olan ve bu iletişimi kesintisiz ve sorunsuz bir şekilde sağlayabilecek yetkili kişilere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Sonuç olarak, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti, üretim süreçlerini daha akıllı, esnek ve verimli hale getirirken, aynı zamanda yeni iş fırsatları ve iş modellerinin de kapılarını aralamaktadır. Bu dönüşüm hem maliyetleri düşürmekte hem de müşteri memnuniyetini artırarak rekabet avantajı sağlamaktadır.

3.4 Üç Boyutlu (3D) Yazıcılar ve Katmanlı Üretim (Additive Manufacturing)

Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamlarında çeşitli çizim ve tasarım programları kullanılarak tasarlanmış üç boyutlu dijital verileri, fiziksel nesnelere dönüştüren makinelerdir. Öncelikle üretilecek ürün tasarlanır ve çizilir. Üç boyutlu bir bilgisayar datası haline getirilip gerekli formatlara çevrilir. Daha sonra bu data yazıcıya aktarılır, yazıcılar mevcut buldukları ham maddeyi eriterek ürünü katmanlar halinde üst üste işlemeye başlar. Üretilen nesne yüzey iyileştirme işlemlerine tabi tutulur ve son halini alır.

Her yıl gelişmekte olan sektör içerisinde farklı türlerde 3D yazıcılar mevcuttur. Bu yazıcıların genel çalışma prensibi; bilgisayar ortamında hazırlanmış çizim verilerini algılayıp, son ürünü belirli programlar aracılığıyla katmanlara ayırıp içinde bulduğunu ham maddeyi üst üste işlemesine dayanmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar işlenen her katmanın üzerine diğer katmanı ekleyerek, zor geometrik şekillere sahip olan ürünleri veya daha uzun sürede üretilecek olan ürünlerin kısa sürelerde üretilmesini olanaklı kılar. “Üç boyutlu yazıcılar, fazla sayıda ekipman kullanılmadan çok karmaşık ürünler oluşturma yeteneğine sahiptir. Üç boyutlu yazıcılarda plastik, alüminyum, paslanmaz çelik, seramik ya da gelişmiş alaşımlar gibi birçok farklı malzeme kullanılarak bir fabrikanın yapabileceği işler yapılmakta, rüzgâr türbinlerinden oyuncak yapımına kadar, çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.” (Soylu, 2018)

“Baskı işleminin gerçekleştirilmesi için birçok malzeme (metal, plastik, polimer, reçine, seramik, alçı ve hatta deney aşamasındaki çalışmalara göre insan dokusu) katı, sıvı veya toz halinde kullanılabilir. İlgili malzemeler yerleştirilip baskı işlemi başlatıldığında, lazer ünitesi yaratmak istediğiniz ürünü aşağıdan başlayarak yukarıya doğru tabakalar halinde işleyerek, istenilen ürünü kısa sürede hazır hale getiriyor.” (Ekici, 2012)

Üretimde kullanılan yöntem ve modeller gelişen teknoloji sayesinde değişmektedir. Geleneksel üretim yöntemleri içerisinde bulunan talaşlı imalat eksiltmeli bir üretim yöntemidir. Ham madde işlenilip, şekil verilerek son ürün haline getirilir. Döküm ile üretim yapılırken kalıplara ve ilgili araçlara ihtiyaç duyulur. Fakat katmanlı üretim olarak adlandırılan 3D yazıcı teknolojisi, benimsenen üretim modellerinden farklı ve daha avantajlıdır. Katmanlı üretim sayesinde; karmaşık parçalar daha kısa sürede ve kolay üretilir, üretim modellerini

şekillendirdiği için çeşitli makinelerin sayısını azaltıp bütçeye katkı sağlar, müşteri talebine göre şekillenen ürünleri gerekli tasarımlar sonucunda kolayca üretebilir ve bu sayede esnek üretime katkısı oldukça büyüktür.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi üretime sağladığı katkıları sayesinde Endüstri 4.0 konsepti içerisinde vazgeçilemez bir yerde durmaktadır. Endüstri 4.0'ın amaçladığı esnek üretim ve üretimde hız konuları, sanayi sektörüne ayak uydurabilen 3D yazıcılar ve katmanlı üretim yöntemleri sayesinde gelişmektedir.

3.5 Bulut Bilişim Teknolojisi (Cloud Computing)

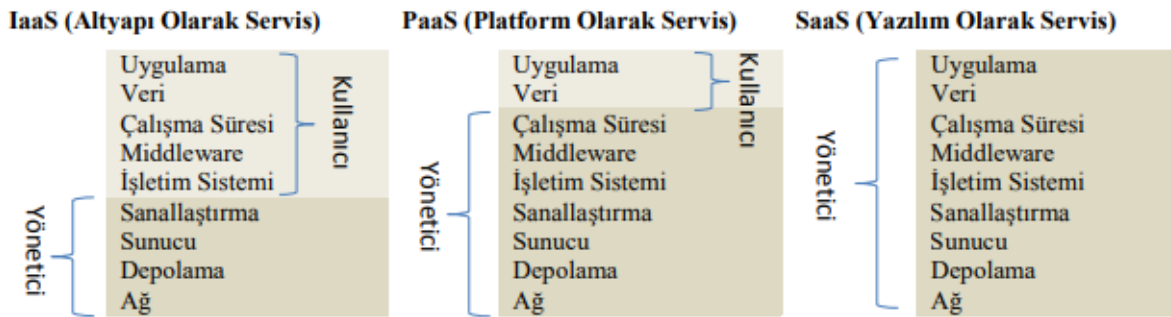
Bulut bilişim, bir ağa bağlanma yetkisi olan bütün cihazların birbirleri arasında ortak veri paylaşma hizmetine verilen genel bir isimdir. Giderek artmakta olan akıllı cihazlar ve gelişen teknoloji nedeniyle oluşturulan veriler oldukça yer kaplamaktadır. Saklanmak istenilen verilerin boyutları maliyet açısından sorun çıkartmaya başlamıştır. Bulut teknolojileri sayesinde ortaya çıkan büyük veriler internet üzerinde depolanabilir ve erişilebilir hale gelmiştir. Bu teknolojiye faydalanmak, mevcut cihazların yükünü hafifletir. Bulut sunucuları paylaşılan uygulama ve program verilerini, kişisel dataları sanal bir makinede depolar ve erişime açık tutar. “Bulut bilişim; hemen her türlü networke dahil olabilen cihazın bağlanabildiği, internet servisleri üzerinden donanımsal ve yazılımsal mevcut envanter ve kaynaklarımızın kullanıcılara ve cihazlara aktif olarak paylaşılabildiği hizmet ve servislerin oluşturduğu internet platformunu ifade etmektedir. Bulut bilişim bir ürün değil hizmettir.” (Yazır, 2018)

Hizmet bulut teknolojisinin sunduğu avantajlar, şirketleri sektördeki rekabet ortamında avantajlı duruma getirmektedir. Bulut bilişimi, işletmelerin ihtiyaç duyduğu yazılım ve donanım maliyetlerini önemli ölçüde düşürmelerini sağlar. Bunun yanı sıra, yüksek performanslı hizmet alımını mümkün kılar, böylece iş süreçleri daha verimli hale gelir. Bulut bilişim, verilerin güvenilir bir ortamda saklanmasını ve sınırsız kapasitede depolanmasını mümkün kılar. Bu özellik, işletmelerin büyük miktarda veri ile başa çıkmasını kolaylaştırır. Kurulum maliyetlerinin düşük olması, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için avantajlıdır; böylece yüksek başlangıç yatırımları yapılmadan bulut çözümleri kullanılabilir. Ayrıca, bulut teknolojisi veri kurtarma merkezi olarak da işler; bu, olası veri kaybı durumlarında verilerin hızlı bir şekilde geri kazanılabilmesini sağlar. Bulut sistemleri, veri setlerinin güncelliğini sürekli olarak sağlamaya yardımcı olur ve bakım süreçleri için kullanıcılar ek bir maliyet üstlenmek zorunda kalmazlar.

Bulut teknolojisi sağladığı avantajların yanı sıra bazı dezavantajları da bünyesinde barındırmaktadır. Verilerin saklandıkları yerlerden temin edilmesi veya veri paylaşımı için sabit ve hızlı bir internet alt yapısına ihtiyaç duyulması. Olası siber saldırılar, doğal afetler sonucu kesilen ağ bağlantıları, donanımsal veya yazılımdan kaynaklı hatalardan dolayı hizmet sağlayıcının faaliyetini durdurulması. Sistemlerin çökmesi veya insani hatalara bağlı kalıcı veri kayıplarının yaşanması, veri güvenlik sistemlerinin açıkları kullanılarak veri hırsızlığı yapılması gibi durumlar bulut teknolojilerinin olumsuz taraflarını yansıtmaktadır. Ancak, doğru uygulamalar ve güvenilir hizmet sağlayıcıları ile bu dezavantajlar minimize edilebilir.

Bulut bilişim genel olarak belirli servis hizmetlerini içinde barındıran ve esnek ayarlana bilirlik ile birlikte kullanıcıya sunan bir ağ erişim modelidir. Bu modelde üç ana servis hizmet vermektedir. Bu hizmetler; “Servis Olarak Altyapı”, “Servis Olarak Platform” ve “Servis Olarak Yazılım” hizmetleridir.” (Kavzoğlu, ve Şahin 2012). Servis olarak altyapı (IaaS), tabanda bulunan en temel bulut bileşenidir. IaaS sağlayıcısı önceden hazırlanmış sanal sunucular ile kullanıcılara bulut hizmetini sunmaktadır. Esnek bir modele sahiptir ve kullanıcı kaynakları istediği zaman arttırıp azaltabilir. Bu hizmetten faydalanan kişi veya kurumlar bulut altyapısı üzerinde kontrol yetkisine sahip değildir. Servis olarak platform, bu sağlayıcı sayesinde kullanıcılar kendi yazılımlarını ve uygulamalarını geliştirebilir. Genellikle yazılım geliştirme şirketleri tarafından tercih edilir. Servis olarak yazılım, son kullanıcıya web tabanlı uygulamalar sunan hizmet türüdür. Kullanıcıların herhangi bir kurulum yapmaya gerek duymadan internet üzerindeki platformlardan uygulamalara erişip onlardan yararlandığı hizmet türüdür. Aşağıda Şekil 4’te Bulut Bilişim Servisleri ve sunduğu hizmetler gösterilmektedir.

Şekil 4: Bulut Bilişim Servisleri ve Sundukları Hizmetler



Kaynak: Kavzoglul, T., Şahin, E. K. 2012

Bulut bilişiminde dağıtım yapan modeller bulunmaktadır. Bu modeller kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda tercih edilir. Bunlar; genel bulut, özel bulut, melez bulut ve topluluk bulutudur.

- **Genel Bulut (Public Cloud):** Kontrol ve denetimleri bulut sağlayıcılarının elinde olan, kullanıcılar tarafından ücretsiz veya kullanılan depolama alanı kadar ücretin ödendiği ve herkes tarafından ulaşılabilen bulut ortamlarıdır. Sistemin yönetiminden ve bakımından bulut sağlayıcısı sorumludur. Genel bulutlar şirketlere büyük avantajlar sağlar; şirket altyapılarında hızlı bir dağıtım görevi üstlenir, depolama kapasitesi sürekli arttırılabilir düzeydedir.
- **Özel Bulut (Private Cloud):** Bu bulut hizmet sistemi, büyük firmalar tarafından tercih edilmektedir. Genel bulutun sağladığı esnek depolama alanı ve self servis özelliklerini kullanıcılarına sağlamakla birlikte internet veya şirket içi ağlarla yalnızca belirlenen kullanıcılara hizmet sunmaktadır. Şirket içerisinde gizli tutulması gereken verilerin güvenli bir şekilde depolanmasını ve bu bilgiler kullanılarak özel değerlendirmeler yapılmasını sağlar.
- **Melez Bulut (Hybrid Cloud):** Özel bulut sistemi ve genel bulut sisteminin bir arada kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Kullanan tarafından belirlenen özel veriler belirli kişilere sunulurken geri kalan verilerin ulaşılabilirliği herkese açıktır.
- **Topluluk Bulut (Community Cloud):** Bir topluluğun hizmeti için temin edilmiştir. Verilere tüm üyeler erişebilir.

Bir fabrikada stratejik yerlerde kullanılan sensörlerin topladığı veriler değerlendirilmek ve analiz edilmek için bulut bilişim sistemlerinde saklanabilir. Ayrıca şirket içerisindeki işleyişin, çalışanların durumlarının, yönetsel süreçlerin, ham madde gereksinimlerin bilgileri bulut sistemlerinde depolanabilir ve kontrolü kolayca sağlanabilir. Bu bilişim teknolojisi Endüstri 4.0 tarzı üretim gerçekleştiren şirketlerde verimlilik ve rakiplerine karşı üstünlük açısından oldukça önemlidir.

Sonuç olarak, hizmet bulut teknolojisi, büyük veri yönetimi açısından işletmelere önemli avantajlar sunmakta ve onları endüstriyel rekabetin içinde üst sıralara taşımaktadır. Etkili bir şekilde kullanıldığında, bulut bilişim, şirketlerin performanslarını artırırken maliyetlerini düşürmelerine olanak tanır.

3.6 Yatay ve Dikey Entegrasyon (Integration)

Ayrık olarak çalışan sistemlerin birleştirilmesi, birden fazla sistemin ortaklaşa hareket etmesi anlamına gelen sistem entegrasyonu konseptini oluşturmaktadır. Bu entegrasyon, Endüstri 4.0'in temelini oluşturan üretim modelinin verimli bir şekilde işlemesi için kritik öneme sahiptir. Endüstri 4.0, birçok alt bileşenden oluşan dinamik bir yapıdır ve bu bileşenlerin bir bütün olarak işlev görmesi, üretim süreçlerinin etkinliği ile doğrudan ilişkilidir. Ham madde tedarikinden ürünün son kullanıcıya ulaşmasına kadar olan süreçteki tüm sistemlerin birbirleriyle sürekli veri alışverişi yapması, Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanmasının vazgeçilmez bir unsurudur. Bu veri akışı, üretimi optimize ederken aynı zamanda üretim döngüsündeki her aşamanın daha şeffaf ve yönetilebilir olmasını sağlar. Dolayısıyla, entegrasyon kavramı Endüstri 4.0'da önemli bir yere sahiptir.

Yatay entegrasyon, üretim planlama sürecinde görev alan tüm birimlerin kendi aralarında ve diğer şirketlerin üretim ile planlama adımları arasında kesintisiz bilgi alışverişi yapmasını ifade eder. Bu tür bir entegrasyon, işletmelerin aynı müşteri tipine hizmet eden diğer şirketlerle birlikte çalışarak, kendi süreçlerinde var olan eksiklikleri belirlemelerine olanak tanır. Yatay entegrasyon, üretim için ham maddenin alımından, üretim aşamalarına, ürünün pazardaki durumundan lojistiğine kadar çeşitli unsurları kapsar. Müşterilerin ürünle ilgili geri bildirimlerinin de bu süreç içinde yer alması, üretim ve hizmetin sürekli olarak iyileştirilmesini sağlar. Bununla birlikte, değer yaratım ağlarındaki yatay entegrasyon, firma içi ve firmalar arası akıllı çapraz bağlantıları ve değer yaratımının dijitalizasyonunu içerir. Ürün yaşam döngüsü boyunca baştan sona mühendislik, bu entegrasyon türünün bir parçası olarak, ürünün tüm aşamalarında akıllı bağlantılar ve dijital çözümler sunar. Bu sayede üretim süreçleri daha verimli hale getirilirken, piyasa değişimlerine hızlıca yanıt verme kapasitesi de artırılmaktadır (Alçın, 2016).

Dikey entegrasyon, fabrika içindeki üretim hatlarını oluşturan sistemlerin sürekli ve kesintisiz iletişim halinde olmasını sağlamayı amaçlayan bir kavramdır. Bu entegrasyon, üretim süreçlerinde yer alan makinelerin, şirket içerisinde kullanılan yazılımların, ortam koşullarını izleyen sensörlerin, motorların ve diğer alt elemanların entegre bir şekilde çalışmasını içerir. Böylece, bu sistemler birbirleriyle sürekli bilgi alışverişinde bulunarak üretim süreçlerinin verimliliğini artırır.

Dikey entegrasyonun temel amacı, üretim sahalarındaki çeşitli öğelerin birleşerek uyumlu bir şekilde hareket etmesini sağlamak ve böylelikle süreçlerin daha etkili bir biçimde yönetilmesini mümkün kılmaktır. Örneğin, makineler arasındaki iletişim, üretim hatalarında oluşabilecek sorunlara hızlı müdahale etme imkânı tanır; bu da daha az duraksama ve daha

yüksek üretkenlik anlamına gelir. Ayrıca, ortam koşullarını izleyen sensörler, makine performansını optimize ederek üretim sürecinde meydana gelebilecek hataları önceden tahmin edebilmeyi sağlar.

Dikey entegrasyonun özünü, fabrikaların ve üretim tesislerinin talep seviyeleri, stok seviyeleri, makine hataları ve öngörülemeyen gecikmeler gibi değişkenlere hızlı ve uygun bir şekilde tepki verebilmelerini sağlayan siber-fiziksel üretim sistemlerinin kullanımı oluşturur. Bu sistemler, fiziksel üretim süreçleri ile dijital verilerin entegre edilmesi sayesinde, daha akıllı ve esnek üretim yöntemlerinin geliştirilmesini mümkün kılar. Dikey entegrasyon, Endüstri 4.0 çerçevesinde sistemlerin daha uyumlu ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlayarak, iş süreçlerini daha da optimize etmektedir. Bu bağlamda, üretim tesislerinin daha hızlı karar vermesi, kaynak yönetimi ve üretim sürecindeki değişkenliklere karşı daha proaktif bir yaklaşım geliştirmesi mümkün hale gelir. Böylelikle, işletmelerin toplam verimliliği artar ve müşteri taleplerine daha etkili yanıt verme yetenekleri güçlenir. (Çelik, 2019)

Entegrasyon Endüstri 4.0 üretim modelini benimseyen şirketlerin rakiplerine üstünlük kurması adına önem göstermesi gereken bir durumdur. Üretimin verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Üretimin başlangıcından sonuna kadar her alanda yatay ve dikey entegrasyonun sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda bütünleştirilen sistemler sayesinde süreçlerde yaşanan olumsuz değişikliklere ve sorunlara yanıt verilmekte, esnek üretim daha kolay hale gelmektedir.

3.7 Artırılmış ve Sanal Gerçeklik (Augmented and Virtual Reality)

Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) teknolojileri, Endüstri 4.0'ın önemli bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler, şirketlerin üretim süreçlerini optimize etmelerine, eğitim ve bakım faaliyetlerini verimli hale getirmelerine ve müşteri etkileşimlerini geliştirerek rekabet avantajı sağlamalarına yardımcı olur (Bayraktar ve Kaleli, 2007).

Sanal gerçeklik, kullanıcılara geçmiş hissi veren ve bilgisayarlar tarafından yaratılan dinamik bir ortamda etkileşim kurma imkânı sunan bir benzetim modelidir. Bu teknoloji sayesinde kullanıcılar, fiziksel dünyadan bağımsız bir deneyim yaşayarak simülasyonlar içinde etkileşimde bulunabilirler. Örneğin, mühendislik çalışmaları sırasında ürün tasarımı veya üretim süreçleri simüle edilerek, potansiyel hatalar önceden tespit edilebilir ve giderilebilir. Buna karşılık Artırılmış gerçeklik ise gerçek dünyaya sanal öğelerin entegre edilmesiyle oluşturulan bir deneyimdir. Bu teknoloji, bakım onarım süreçlerinde veya eğitim faaliyetlerinde kullanılabilir ve kullanıcıların gerçek zamanlı veri ve talimatlara erişmesini sağlar. Örneğin,

teknisyenler bir makinenin bakımını gerçekleştirmek için AR gözlükleri kullanarak, gerçek zamanlı talimatlar ve uyarılar alabilirler.

Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik teknolojilerinin stratejik yerlerde kullanımı, Endüstri 4.0'ın sunduğu olanaklardan tam anlamıyla faydalanmak için kritik bir faktördür. Bu teknolojiler, şirketlerin üretim süreçlerini daha esnek ve verimli hale getirirken, aynı zamanda çalışanların eğitimini ve müşteri deneyimini de geliştirir. Bu sayede, firmalar rekabet ortamında daha üstün bir konuma gelerek, pazar taleplerine daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verebilirler. Endüstri 4.0'ın başarısı, bu teknolojilerin entegrasyonu ve doğru uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

“Fiili süreçlerin ve makinelerin takibi fiziksel dünyada yapılan gözlemlerle sağlanır. Endüstri 4.0 sisteminde bu süreçler sanal modeller veya simülasyon yoluyla oluşturulan modellerle bağlantılı olabilir. Endüstri mühendisleri ve tasarımcılar sanallaştırdıkları fabrikalarda fiziksel süreçleri etkilemeden değişiklikleri veya yükseltmeleri tamamen yalıtılmış bir şekilde özelleştirebilir, değiştirebilir ve test edebilirler. Endüstri 4.0 üretim sisteminin oluşumunda görev alan yöneticiler, hâlihazırda bulunan aşamaları ve ürünleri büyük ölçüde iyileştirmek ve ürün geliştirme ve modellemeyi azaltmak, bir üretim süreci oluşturmak ve dolayısıyla yeni ürünlerin masrafını azaltmak adına fabrikalarının “sanal ikizini” yaratabilirler.” (Çelik, 2019)

Sanal gerçekliğin endüstriyel üretim içerisinde birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Üretim sahalarının düzenlenmesi, planlama, ürün kontrolü, makine bakımları, eğitim gibi alanlarda sanal dünyanın endüstriye katkı sağladığı görülmektedir. Sanal ortamlarda simülasyonu yaratılan fabrikaların eksiklikleri görülüp, daha verimli hale getirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmekte ve sanal ortamlarda fabrika dinamikleri analiz edilmektedir. Sanal gerçeklik teknolojileri sayesinde fabrika içi eğitimler daha ucuz ve verimli hale gelmektedir. Çalışanlara verilen uygulamalı eğitimler sayesinde hata oranlarının en az seviyelere indirilmesi planlanmaktadır. Eğitimler, çalışanların sorumlu oldukları makinelerin simülasyon hali üzerinden gerçekleştirilmekte ve bakım, onarım, servis gibi alanlarda yürütülen faaliyetler daha kaliteli hale gelmektedir.

Fabrikaların ve üretim tesislerinin sanal gerçeklik teknolojileri ile tasarlanmaları, onları sektör içerisinde üstün kılar. Çünkü sanallaştırılmış üretim sahaları üzerinde deneme yanılma yapılarak hızlı çözümlere ulaşılmaktadır. Sorun giderme odaklı gerçekleştirilen her simülasyon çalışması fabrika standartlarını yükseltmekle birlikte maddi kayıpların önüne geçmektedir.

Endüstri 4.0 vizyonuna sahip fabrikaların artırılmış gerçeklikle donanmış ve sanal ortamlarda çözüm odaklı olmaları gerekmektedir.

3.8 Yapay Zekâ (A.I / Artificial Intelligence)

Günümüz, devrim niteliği taşıyan teknolojik gelişmelerin yaşandığı ve bu gelişmelerin başka teknolojilerle entegre olduğu bir dönem. “Yapay Zekâ”, makinelerin, araçların, robotların ve çeşitli nesnelere donatılan sensörler ve sahip oldukları yazılımlar sayesinde zekâ gerektiren işleri gerçekleştirmelerini sağlayan teknolojidir. “Marvin Minsky, Aileen Newell ve Herbert Simon Yapay Zeka'nın kurucuları olarak bilinirler. 1956 yılında katıldıkları Dartmouth College'de düzenlenen konferans yapay zekanın doğuşu olarak kabul edilmektedir. John McCarthy 1956 yılında “yapay zekâ” terimini ilk defa kullanmıştır.” (Yıldız ve Yıldırım, 2018).

“Günümüzde farklı disiplinlerin tartıştığı konulardan biri, teknolojik gelişmeler ile beraber hızla ilerleyen yapay zekâdır. Yapay zekânın temel amacı insan zekâsı gerektiren işlerde insanlar yerine makinelerin kullanılmasını sağlamaktır. Yapay zekâ (Artificial Intelligence), akıl yürütme, öğrenme, iletişim kurma, algılama, geçmiş bilgileri kullanma, nesnel oynama ve yer değiştirme yeteneğine sahip cihazlar üretmeyi amaçlayan bir kavramdır.” (Bayuk ve Demir, 2019)

Yapay zekâ sanayide ve üretim sahalarında Endüstri 4.0 kavramının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Yeni nesil teknolojilerin yaratmış olduğu etki geleneksel üretim metotlarını değiştirmektedir. Yapay zekâ teknolojisi, insan ve insana bağlı bütün olumsuz durumların ortadan kalktığı, yazılımlarla donatılmış akıllı makinelerin üretimde kullanıldığı ve ürünlerin daha kaliteli hale geldiği yeni bir üretim çağının kapılarını açmaktadır. Fakat yapay zekânın geliştirilmesinin olumsuz etkiler yaratacağını savunan insanlar bulunmaktadır. Yapay zekânın, işsizlik yaratma potansiyelinin oldukça yüksek olması bu kaygıların başında gelmektedir. Diğer bir yandan yapay zekânın kendini geliştirebilmesi ve zamanla öğrenme yetenekleri insanlık için bir tehdit olur mu sorusunu gündeme getirmektedir. Bu düşüncelerin ışığında yapay zekâ teknolojisi gelişimini sürdürmekte ve birçok alanda hakimiyetini kanıtlamaktadır. Endüstri 4.0 tipi üretim hatları, otonom araçlar, sağlık analizi ve hasta tedavisi, çevrimiçi asistanlar, siber güvenlik ve savunma sanayi, navigasyonlar, e-ticaret siteleri gibi birçok alanda geliştirilerek kullanılmaktadır.

Fabrikalarda ve üretim tesislerinde yapay zekâ uygulamalarının kullanılması birçok fayda sağlamaktadır. Yapay zekâ teknolojisi, eksiklikleri tespit etme ve işleyişi otonom hale getirme konusunda oldukça iyi durumdadır. Gelecekte bu teknoloji sayesinde şirketler düşük

maliyetli ve daha verimli işler yapabileceklerdir. İlerleyen yıllarda şirketler içerisinde gerçekleşen birçok işi yapay zekâ teknolojili akıllı cihazların devralması beklenmektedir. Ham madde ile başlayıp tüketicide son bulan bütün süreçlerin kontrol ve planlamasında, uygulanan işlemler baz alınarak geleceğe dönük analizler ve iyileştirilmeler yapılmasında bu teknolojilerin faydası oldukça yüksektir.

3.9 Akıllı Fabrikalar ve İnsansız Üretim

Endüstri 4.0'ın bütün bileşenlerinin ortak bir amaç için görev aldığı, üretim aşamalarında, insanın fiziksel gücünün kullanılmadığı, insanların kontrollerinde olan üretim sistemlerinin yapay zekalar ve otomasyon sistemleri tarafından yönetildiği üretim şeklidir. Akıllı fabrikalarda kullanılan; nesnelere interneti, büyük veri, bulut bilişim sistemi gibi teknolojik bileşenler siber fiziksel sistemlerin haberleşmelerini, durum analizi yapmalarını, sorunların tespit edilip çözülmesi işlemlerini merkezi olmayan bir yönetim anlayışıyla gerçekleştirmektedirler. Bu olayların gerçekleşmesi için insan müdahalesine gerek duyulmamasına rağmen uzaktan, tedbir amaçlı kontrol edilmeleri gerekmektedir. Fabrika veya üretim tesisi içerisinde gerçekleşen süreçlerde insan faktörü devre dışı kaldığı için, çalışma ortamında ilk akla gelecek, insani bir gereksinim olan aydınlatma sistemlerine gerek duyulmamaktadır. Bu yüzden yarattıkları algı nedeniyle “Karanlık Fabrika” olarak adlandırılmışlardır.

Akıllı fabrikalar, sağladıkları olumlu getiriler açısından çok geniş bir etki alanına sahiptir. Amaç, üretim sistemini otomasyon haline getirmek, üretimden kaynaklı hata payını en aza indirmek, üretim süreçlerine hız kazandırmak ve üretim giderlerini düşürmektir. Akıllı fabrikalar, prototip ürün çıkarma veya ürün üretilmeden önceki ilk halini sipariş edebilme, ya da kendi tasarımını yapabilme imkânı tanıma gibi faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, sistemin ortaya çıkartacağı yararlar yalnızca üretim sahasıyla sınırlandırılmayıp, satış öncesi ve sonrası dönemle ilgili durumlar hakkında daha fazla bilgiye sahip olmasına olanak sağlayacaktır.” (Calp, Bahçekapılı, ve Berigel, 2019). Çalışanların, ulaşım, yeme içme, maaş, sigorta gibi sebep oldukları maliyetler ortadan kalkmaktadır. Fabrika ortamlarının aydınlatılması, termal konfor alanının sağlanması, havalandırılması, gürültü giderici önlemlerin alınması gibi gereksinimler insana yönelik olduğu için akıllı fabrikalarda bu gibi durumların sağlanmasına gerek yoktur. Bu koşulları yerine getirmek için gereken enerji ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Tekrarlanan işleri otomasyon sistemlerinin yapması, tehlikeli işlerde makinelerin görev alması iş sağlığı ve güvenliği açısından tehdit olabilecek bütün riskleri ortadan kaldırmaktadır. İnsanların günlük psikolojik veya fiziksel durumlarından kaynaklı üretim hataları ortadan kalkmakta, ürünler

daha kaliteli üretilmekte ve insan kaynaklı hatalı ürünlerin oluşturmuş olduğu ham madde gereksinimindeki ihtiyaç azalmaktadır. “Karanlık fabrikaların yakın gelecekte beklenen olası etkisi, çalışana harcanan masrafların ortadan kaldırması olacaktır. Bu görüş, Endüstri 4.0’ı bütün mekanikleriyle benimseyip uygulamaya koyan şirketlerde, geleneksel maliyetlemenin uygulanabilirliğinin ortadan kalkacak olmasına işaret etmektedir.” (Gökten, 2018) Tablo 2’de günümüz fabrikalar ile akıllı fabrikaların karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 2: Günümüz Fabrikalar ile Akıllı Fabrikaların Karşılaştırılması

	Veri Kaynağı	Günümüz Fabrikaları		Akıllı Fabrikalar (Endüstri 4.0 Tabanlı)	
		Özellikler	Teknolojiler	Özellikler	Teknolojiler
Bileşen	Sensör	Hassas	Akıllı Sensörler ve Arıza Tespiti	Kendi kendine tetikte olma, Kendi kendine tatmin	Arıza izleme ve kalan yaşam tahmini
Makine	Kontrolör	Üretilebilirlik ve Performans	Durum Tabanlı İzleme ve Teşhis	Kendi kendine farkındalık, Kendi kendine tahmin, Kendi kendine Karşılaştırma	Tahmini süre ve arıza önleme
Üretim Sistemi	Ağ Sistemi	Verimsiz Operasyonlar, İş ve Atık Azaltma	Verimsiz Operasyonlar İş ve Atık Azaltma	Kendi kendine yapılandırma, Kendi kendine bakım, Kendi kendine organize	Esnek kontrol sistemleri ile endişesiz ön görülebilirlik

Kaynak: Calp, M. H., Bahçekapılı, E., ve Berigel, M. 2019

Geleneksel fabrikaların, akıllı fabrikalara dönüştürülmesinde karşılaşılan bazı zorluklar mevcuttur. Makinelerin robotize edilmesi, otomasyon süreçlerinin tasarlanması ve diğer akıllı cihazlarla entegrasyonunu sağlamada teknik bilgi ve büyük miktarda kaynak gerekmektedir.

Harcanan kaynağın kısa vadede geri dönüşünün sağlanması durumunda mantıklı bir yatırım olacağı öngörülmektedir. Tekrarlanan işlemlerin ve üretim aşamalarının basit olduğu fabrikalar için tercih edilmesi gereken bir yöntemdir. Olası sorunları çözecek otonom sistemlerin doğru planlanması gerektirmektedir.

Akıllı fabrikalar üretim alanlarında yeni bir çağı temsil etmektedir. Standartlarına uygun bir şekilde hayata geçirildiğinde fabrika içerisindeki verimliliği doğrudan etkileyen, şirket için getirisi oldukça yüksek ve üretilen ürünün kalitesini arttırmak adına doğru bir yöntem olarak görülmektedir.

4. DÜNYADA ENDÜSTRİ 4.0

2011 yılında soyut bir kavram olarak sunulan Endüstri 4.0, günümüze gelindiğinde gelişen teknolojinin de sayesinde somut bir üretim metodu haline dönüşmüştür. Tanıtıldığı yıldan itibaren, ülkeler ve vizyon olarak bir adım yukarıya çıkmak isteyen şirketler tarafından gelişmeler yakından takip edilmiş, planlamalar ve dönüşümler süregelen gelişmeler ışığında gerçekleşmiştir. “Dünya imalat sanayinde otomasyon düzeyi en yüksek 10 ülke “Kore, Singapur, Almanya, Japonya, İsveç, Danimarka, ABD, İtalya, Belçika ve Tayvan”dır.” (Asiltürk, 2018)

Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak Almanya’da ortaya çıktı. Endüstriyel dönüşüm için yeterli kaynağa ve teknik bilgiye sahip bir ülke olmakla birlikte devletsel politikalar ve büyük şirketlerin uygulamalarıyla bu kavramın öncülüğünü üstlenmektedir. Almanya, üretim sistemlerinin dijital otomasyon sistemleriyle tam entegre hale getirilmesi ve endüstriyel robot üretimindeki başarısıyla dünyada önemli bir yere sahiptir. Almanya’nın bu dönüşüm süreci içerisine girmesinin arkasında bazı nedenler yatmaktadır. Giderek yaşlanan nüfusunun iş gücüne etkisinin azalması ve mevcut iş gücünün pahalı olması nedeniyle diğer ülkelerle rekabet edemeyecek düzeyde olmasıdır. “Almanya, AB'nin de öncü ülkesi olarak başta Çin olmak üzere ucuz işgücü ile üretim yapabilen bu yeni yükselen ekonomik güçlerle rekabet edebilmek, küresel üretim ve ticareti bu bölgeye tamamen kaptırmamak üzere endüstri 4.0'a yönelmiştir. Almanya ve AB, bu ülkelerle işgücü ücretleri düzeyinde rekabet edemezdi. Zira nüfuslarını arttırmaları ve üstelik ücretleri düşürmeleri gerekirdi. Bu da pek mümkün değil. Bunun yerine endüstri 4.0 ile Çin'i ve Güneydoğu Asya ülkelerini en güçlü oldukları noktadan vurdular; mavi yaka iş gücü.” (Ergün, Erdal ve Osman, 2020).

Almanya mühendislik yatırımları ve vizyonunun gelişmişliği açısından global düzeyde ön plana çıkan, ülkenin milli gelirinin büyük bir kısmını oluşturan şirketlere sahip bir endüstri

ülkesidir. Bu özelliğinden ötürü endüstriyel açıda dünyada güç sahibi ülkeler arasındadır. “Angela Merkel, Ekim 2014'te Hamburg'da düzenlenen National IT Summit'te Almanya'nın dijital dünyanın lider ülkesi olması için dijital teknolojilerle, endüstriyel ürünleri ve lojistiği bağlamak olarak gördüğü Endüstri 4.0'ı bir şans olarak gösterdi. Merkel yine yakın tarihte Davos'ta düzenlenen Dünya Ekonomi Forumu'nda, Endüstri 4.0'ı, birbirine bağımlı dünyaya ve endüstriyel üretime hızla uyum sağlamak için kullanacakları konsept olarak tanıttı. Almanya, Merkel'in Endüstri 4.0'a olan bağlılıklarını, dev şirketlerinden, hızla büyüyen start-up girişimlerine kadar her alanda kanıtlıyor.” (Nevra, 2021)

Endüstri 4.0 kavramını ileriye taşıyan bir diğer ülke Amerika Birleşik Devletleridir. ABD Endüstri 4.0'ın gelişmiş teknolojik üretim hakimiyetini yakalamak için, çalışmalarını “Ulusal İmalat İnovasyon Ağı (National Network for Manufacturing Innovation- NNMI)” programı kapsamında yürütmektedir. Bu program bünyesinde birçok şirketi ve üniversiteyi barındırmaktadır. Devlet tarafından bu program kapsamında bulunan yerlere gerçekleştirilen yatırımlar ile Endüstri 4.0 çağında ilerleme, bu kavramı geliştirme ve dünyada bir numara olmak hedeflenmiştir. Bu programın işleyişi Amerika Birleşik Devletleri Ticaret Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmektedir. Almanya her ne kadar fikir öncülüğü yapsa da Endüstri 4.0'a yaptığı yatırımlar açısından ABD'nin gerisinde kalmıştır. “ABD, Almanya ve Japonya'da yapılan araştırmalar sonucunda, Alman firmalarının yaptıkları yatırımlar ile dünyada Amerika'nın gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Almanya yatırımlarının %15'i kadar bir bölümünü Endüstri 4.0 için ayırırken, Amerika yaptığı %29 yatırım oranı ile dikkat çekmektedir.” (McKinsey ve Company 2015)

Japonya, Endüstri 4.0 çağını farklı bir vizyondan değerlendirip “Toplum 5.0” adı verilen ve insan faktörünün daha fazla ön plana çıktığı bir kavram tasarlamıştır. Toplum 5.0, insanlar ve gelişen teknoloji arasında bir ilişki oluşmasına dayanmaktadır. Felsefe olarak teknolojinin toplumlar için bir tehdit değil bir yardımcı olarak sunulması belirlenmiştir. Yeni endüstri çağının akıllı toplum etiketiyle sunulması adına çalışma göstermektedir. Bu kavram teknolojilerin insanlık ve doğal çevre faydasına kullanımını, bu sürecin başarılı ilerlemesi için toplumsal ön yargılardan devlet politikalarına kadar ilgili alanlarda birçok değişikliğe gidilmesi gerektiğini savunmaktadır. Japonya sahip olduğu güçlü devlet misyonu ve endüstriyel gelişmişlik açısından diğer ülkelere göre çok daha gelişmiş bir konumdadır ve Endüstri 4.0 yolculuğunda lider ülkeler arasındadır (Saracel ve Aksoy, 2020).

Dünyadaki üretimin en büyük hissedarı olan Çin, sermaye ve ucuz iş gücüyle elde ettiği başarısını Endüstri 4.0 teknolojilerinin gelişmesiyle yavaş yavaş kaybetmektedir. Çin, Endüstri 4.0'ın olumlu getirilerini arttırmak ve bu sürecin içerisine dahil olmak adına bilimsel toplantılar

düzenlemektedir. Eski büyüme hızlarının önüne geçen yeni sanayi devrimine uyum sağlamak ve eski ekonomik gücüne ulaşmak için “Made in China 2025” planını 2015 yılında yayınlamıştır. Bu proje, robot teknolojilerini, gelişmiş bilgi teknolojilerini, yeni nesil enerji kaynaklarıyla çalışan makineleri kapsayan ve ülkeyi yüksek teknoloji merkezi haline dönüştürmeyi hedefleyen çalışmadır. Çin Endüstri 4.0 teknolojilerini kendi ülkesinde yaymak ve Avrupa Ülkelerinin tecrübelerinden faydalanmak adına birçok ülke ile iş birliği içerisinde girmektedir İlk defa Çin’de kurulan ve robotlar tarafından yönetilen akıllı fabrika da cep telefonu modülleri üretilmektedir. Endüstriyel robotik kolların birçok işçinin işini tek başına yapması fabrikadaki işçi sayısını on kat düşürmüş, hatalı parça oranının da ciddi bir azalma gözlemlenmiştir. Çin, Endüstri 4.0 teknolojilerine entegre bir üretim sistemi kurmayı ve dijital teknolojiler bakımından lider olmayı hedeflemektedir (Crawford, 2019).

4.1 Endüstri 4.0 ve İSG

Bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler Endüstri 4.0 kavramını üretim sektörünün odak noktası haline getirmektedir. Sanayi alanında gerçekleşen her yeni gelişme iş sağlığı ve güvenliği alanında araştırma konusu haline gelip, değişikliğe gidilmesini gerektirmektedir. Endüstri 4.0 modelinde bir üretim tarzının benimsenmesi, geleneksel yöntemlerin değişmesine, fabrikalarda çalışan mavi yaka iş gücünün azalmasına sebep olmaktadır. Şirketler işleyişlerini değiştirmekte, şekillenen üretim yöntemleri sayesinde çalışanların yaptıkları işler değişmektedir. Bu durum şirket yöneticilerinin ve çalışanlarının “İş Sağlığı ve Güvenliği” konularına karşı olan bakış açılarını da değiştirmektedir.

Endüstri 4.0 tarzı üretimi benimseyen işyerlerinde insan hatasından kaynaklı kazaların çok ciddi oranda azalacağı öngörülmektedir. Geleneksel üretim yapan işyerlerinde çalışanların karşı karşıya kaldığı fiziksel, kimyasal, biyolojik, psikolojik etmenler Endüstri 4.0 tipi üretimde en az seviyelere düşeceği tahmin edilmektedir. Ayrıca Endüstri 4.0 teknolojilerinin çalışma hayatına etkisi sayesinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının takip edilebilirliğinin kolaylaşması, kullanılacak güvenlik sensörleri sayesinde daha güvenilir bir hal alması öngörülmektedir.

Çalışan sayılılarında yaşanan azalma risk faktörlerinin tehlikeli etkilerini büyük oranda düşürmekle birlikte tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Fabrikaların işleyişlerini otomasyon sistemleri ile bütünleştirilmesi o sistemlerin sürekli olarak kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu kontrollerin gerçekleştirilmesi fabrika içerisinde bulunan ilgili makinelerin dijital ekranlarından veya dışarıda bulunan yönetim ofislerindeki bilgisayarlardan

gerçekleşmektedir. Her iki durumun da ayrı ayrı iş sağlığı ve güvenliği önlemleri gerektirdiği görülmektedir.

Makine sayısı geleneksel üretime göre daha fazla olduğu için fabrika içerisinde üretimin işleyişini kontrol eden çalışanlar gürültü, titreşim gibi bazı fiziksel risk etmenlerine karşı tedbirli olmalıdır. Ayrıca makineler ile temas azalacağı için makinelere bağlı iş kazalarında ciddi bir düşüş yaşanması beklenmektedir.

Aralıksız ilerleyen bir üretim sürecini yönetmek ciddi bir odak ve takip gerektirmektedir. Bu takip, ofislerde bulunan bilgisayarlar üzerinden gerçekleşmektedir. Üretim takibini gerçekleştiren çalışanlar bilgisayar başında ve uzun süre hareketsiz bir şekilde çalışmalarını sürdürmek durumunda kalmaktadırlar. Fabrika kontrolünü dışardan yürütenler için işverenin tuttuğu ofisler, ergonomik hususlar göz önünde tutularak tasarlanmalı ve gerekli bütün önlemler alınmalıdır.

Endüstri 4.0 kavramı altına genişletilecek her iş planı için iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları gözden geçirilmeli, kanunlar bu değişiklikler karşısında revize edilmeli, gerekli önlemler bu kanunlar hükmünde uygulanmalıdır.

4.2 Ergonomi ve Endüstri 4.0

Ergonomi kelimesi köken olarak Yunancaya dayanmaktadır. İş anlamına gelen “ergon” ve yasa, prensip anlamına gelen “nomos” kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuştur. İş bilimi anlamı taşımaktadır. Ergonomi; yapılan işin, işi gerçekleştiren insanın, makinelerin ve çevrenin uyumlaştırılmasını amaç edinmiştir. İnsanın fizyolojik, biyolojik ve anatomik özelliklerini inceleyerek, kullanılacak olan aletlerin o standartlara uygun olarak tasarlanmasını sağlar. Ergonomik açıdan risk oluşturabilecek risk faktörleri; psikolojik, çevresel ve fiziksel faktörler olarak ana başlıklara bölünmektedir.

Endüstri 4.0 kavramı makinelerin üretimde daha fazla rol aldığı, insan iş gücüne dayalı işlerin robotlara devredildiği bir prensibi içermektedir. İnsanların tekrara dayalı işlemleri gerçekleştirmesi ergonomik açıdan olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Üretimde tekrar eden işleri üstlenen robotlar sayesinde bu sorun ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca üretim hatlarında insanların ve robotların ortaklaşa çalıştığı durumlar mevcuttur. Bu durumlarda insanlar için tehlike oluşturabilecek durumların, sensörlerle donatılmış robotlar sayesinde algılanıp gerekli uyarıların ve tehlikeyi engelleyici kısıtlamaların gerçekleştirilmesi olanaklıdır. Endüstriyel robotlar, olası tehlikelerin önüne geçilmesi adına işletmeler tarafından bu gibi durumlarda tercih edilmektedir.

“Endüstri 4.0’in ergonomik açıdan oluşturabileceği sorunlar içerisinde, fabrikalarda kişisel koruyucu donanımlarda Endüstri 4.0 teknolojisinin yer aldığı ve bu üretimsel değişimin, işlerin oluş şekli ve üretim aşamalarını daha karmaşık bir yapıya dönüştürdüğü görülmüş ve çözüm olarak ise dinamik ve kişiselleştirilmiş iş sağlığı ve güvenliği “Risk Yönetim Modeli” önerilmiştir.” (Çakıt, Aylin ve Dağdeviren, 2020).

Endüstri 4.0’in ergonomi kanadında olumlu etkiler gösterdiği gözlemlenmiştir. Ergonomi uygulamalarının, verimlilik kazancının artmasına, yeni iş kolları doğurmasına ve çalışma hayatına farklı bir boyut kazandıracağına dikkat çekilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında daha sağlıklı kararlar alınabilmesi, daha iyi ortam koşullarının sağlanabilmesi, işin gerçekleştirilmesine dayalı fiziksel sorunların azalması Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Ergonomi açısından olumsuz sonuçlar doğurabileceği tahmin edilen Endüstri 4.0 uygulamaları bazı sorunları beraberinde getirmektedir. İşe özel personel bulunmasında zorluk çekileceği ve kalifiye eleman eksikliğinden kaynaklı risklerin oluşabileceği, iş gücüne dayalı işlerde makinelerin insanların yerini alması ve bu alanlarda işsizlik sorunlarının baş göstermesi bu sorunlardan bazılarıdır.

“Teknolojide yaşanan gelişmeler canlıların makinelerle etkileşiminden kaynaklı sorunlara ilişkin iyimser çözümler üretmektedir. Teknolojilerdeki bu gelişim zaman içerisinde bütün şirketler adına bir zorunluluk olacaktır. Endüstri 4.0 getirileri göstermektedir ki, ergonomi faaliyetleri için bir katkı sunmaktadır. Arttırılmış gerçeklik ve simüle edilen fabrikalar sayesinde artan verimliliğin, şirketsel rekabet ortamlarında büyük bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ergonomi alanında gerçekleşen bu geliştirmeler şirketlerin verimliliğini arttıracaktır.” (Turan ve Arğın, 2020)

4.3 Endüstri 4.0 ve Fiziksel Risk Etmenleri

Fiziksel risk etmenleri, çalışma ortamlarında sağlık açısından tehlike oluşturma potansiyeli olan fiziksel faktörlerdir. Çalışma ortamının sıcaklığı, nem durumu, çalışan makinelerin yaratmış olduğu titreşim ve gürültü, ortam basıncı gibi durumlar çalışanların sağlıklarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Gürültü, endüstriyel iş yerlerinde yeterli önlemler alınmadığı takdirde insanların işitme özelliğini kaybetmesine kadar gidebilen rahatsızlıklara yol açan bir risk unsurudur. Şiddetine veya ne kadar önlenebildiğine bağlı olarak insanları psikolojik ve fiziksel olarak etkilemektedir. Titreşim, makinelerin ve el aletlerinin çalışmalarından kaynaklı oluşturdukları salınım

hareketidir. Titreşim anında enerji değişimi meydana gelmektedir. Potansiyel enerji kinetik enerjiye, kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşmektedir. Belirli maruziyet süresi aşıldığında ilgi ve iştah kaybı, terleme, baş ağrısı ve yorgunluk belirtilerini ortaya çıkartmaktadır. Aydınlatma, iş yerlerinde gerçekleştirilen işlerin daha net anlaşılır olmasını ve kaliteli bir üretim süreci geçirilmesini sağlamaktadır. Aydınlatmanın yeterli olmadığı yerlerde iş kazalarına bağlı sakatlıklar artmakta ürün kalitelerinde düşüş yaşanmaktadır.

Üretimde makineleşmenin artması ve çalışanların çok makine olan çalışma alanında bulunması fiziksel risk etmenlerine karşı olan maruziyeti arttırabilmektedir. Bununla birlikte, “çalışanların ofis işlerine yönelmesinde ise, ergonomik olarak düzenlenme ihtiyacı doğuran aydınlatma, termal durum, havalandırma gibi fiziksel risk etmenleri önem arz etmektedir.” (Caner, 2021) Endüstri 4.0 çalışma ortamlarını değiştirmekte, yeni iş sağlığı ve güvenliği araştırmalarına zemin hazırlamaktadır. Bu araştırmalar sonucunda iş sağlığı ve güvenliği kanunlarında düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin iş hayatına etkisi araştırılmalı, oluşabilecek riskler analiz edilmeli ve mevcut iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ile birlikte değerlendirilmelidir. Ortaya çıkan bulgular üzerinden gerekli eğitimler hazırlanmalıdır. “Üretimde insandan donanıma geçiş (endüstriyel otomasyonlar, robotlar, üç boyutlu yazıcılar, yeni üretim teknolojileri vb.), insan-makine etkileşiminin en az seviyelere indirilmesi, insanların ve robotların birlikte çalışabildiği üretim hatlarının oluşturulması, endüstriyel otomasyonlar sayesinde makine emniyet standartlarının yenilenmesi, ulusal ve uluslararası yeni standartların geliştirilmesi süreçleri hayata geçirilmektedir.” (Caner, 2021) Bu durum mevcut bazı fiziksel risk faktörlerini ortadan kaldırmakla beraber yenilerini getirebilme potansiyeline de sahiptir. Yeni üretim sürecine hazır eleman yetiştirme gereksinimini doğurmaktadır.

4.4 İş Yerinde ve Uzak Ofislerde İş Sağlığı ve Güvenliği

Bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler endüstri ile entegre olmaya devam etmektedir. Bu birleşmenin getirileri işletme içerisindeki işleyişi değiştirmektedir. Endüstri 4.0 ilkeleri gerek üretim sahalarında gerekse üretimin takip edildiği ofislerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında değişikliğe gidilmesini veya mevcut uygulamaların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Robotlu otomasyon sistemleriyle donatılmış, Endüstri 4.0 vizyonuna sahip bir işletme; üretimin sürekliliğini sağlayan makinelerin kontrolünü gerçekleştiren çalışanlara, fabrikanın genel işleyişinin kontrol eden ofis çalışanlarına ihtiyaç duyar. Bu durum ilgili fabrika için çeşitli iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının bir arada uygulanmasını gerektirmektedir.

Endüstri 4.0 makineleşmenin arttığı, çalışan insan sayısının azaldığı bir paradigmadır. Makineleşmenin artmasından dolayı fabrika içerisinde faaliyet gösteren işçilerin maruz kalacakları etkiler de artacaktır. Gürültü seviyeleri uygun değer düzeylerin üstüne çıkmakta bu durum alınacak önlemlerin artmasına sebep olmaktadır. Yazılım teknolojilerinin yönettiği robot ve makinelerin, bakım ve onarımlarından sorumlu kişiler gerekli eğitimleri almalıdır. Fabrikalar, yazılım hatalarından kaynaklı olası bir problem için gerekli donanımlara sahip kalifiye eleman bulundurmalıdır. Bu durum hem üretimin durmasına hem de kontrolden çıkan makinelerin üretim hatlarına ve çalışanlara zarar vermesiyle son bulabilmektedir. İşletme içerisinde üretimin kontrol edildiği ekranların, makinelerin etkilerinden uzak bir yerde bulunması, ergonomik standartlara ve Ekranlı Araçlarla Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik maddelerine uygun olması gerekmektedir.

İş Kanunu'nun m.14/6'ya göre, "Uzaktan çalışmada işçiler, esaslı neden olmadıkça salt iş sözleşmesinin niteliğinden ötürü emsal işçiye göre farklı işleme tabi tutulamaz. İşveren, uzaktan çalışma ilişkisiyle iş verdiği çalışanın yaptığı işin niteliğini dikkate alarak iş sağlığı ve güvenliği önlemleri hususunda çalışanı bilgilendirmek, gerekli eğitimi vermek, sağlık gözetimini sağlamak ve sağladığı ekipmanla ilgili gerekli iş güvenliği tedbirlerini almakla yükümlüdür." hükmü yer almaktadır. Çalışanların yüksek performansta çalışmaları ve daha verimli hâle gelmeleri için çalıştıkları ortam çok önemlidir. İş yeri sahibinin yönetim ve iş takibi için çalışanlara sağladıkları ofis ortamları ergonomik hususlar göz önünde tutularak dizayn edilmelidir. Sağlıklı ve güvenli bir iş yeri ortamı işverenin sorumluluğundadır. Ofisler, küçük ama iş akışını sıkıntıya sokabilecek birçok riski bünyesinde barındırır. Bu risklerin önüne geçmek basit sayılabilecek önlemler alınmasıyla mümkün olmaktadır.

Ofislerde, çalışanların sağlıklarını etkileyebilecek ve meslek hastalıklarına neden olabilecek durumlar söz konusudur. Ekranlı araçlara uzun süre bakmak, hareketsiz kalmak, ortamın nem ve sıcaklık değerleri çalışanların sağlıkları üzerinde etkisi olan durumlara örnektir. İş akışının doğru planlanması ve gerekli molaların, çalışmanın yoğunluğuna göre ayarlanması statik duruş rahatsızlıklarının önüne geçmektedir. Ofis ortamlarında çalışmalarını sürdüren çalışanlara, iş sağlığı ve güvenliği uzmanları tarafından gerekli eğitimlerin verilmesi; bilinçli bir çalışma ortamı oluşmasını, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının engellenmesini, sürekli aynı ortamda çalışmanın getirdiği stres, depresyon, öfke gibi durumların önüne geçilmesini sağlamaktadır.

"Üretim aşamaları fabrika ortamının dışına çıkabilmektedir. İşletmeler dışında hizmet sektörünün fabrikaları olan ofislerde de hizmet üretimi olmaktadır. Dolayısıyla bir işyeri niteliğinde olan ofislerde de iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri uygulanmalıdır. Mevcut endüstri

çağında fabrika ve ofis ayrımı somut bir şekilde mevcuttur. Bu sebeple fabrikalarda dikkat edilmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri ile fabrika dışı ofislerde dikkat edilmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri bellidir.” (Can ve Çelik, 2019).

5. SONUÇ

İçinde bulunduğumuz dönemin teknolojik gelişmeleriyle şekillenen Endüstri 4.0, küresel ölçekte büyük değişimlere yol açan yeni bir üretim paradigması sunmaktadır. Bu dönüşüm, sadece sanayi sektörünü değil, tüm toplumları ve ekonomileri etkileyen kapsamlı bir değişim sürecidir. Endüstri 4.0'ın temeli, bilişim teknolojilerindeki devrim niteliğindeki ilerlemelere dayanarak fabrikaların akıllı sistemlerle donatılmasını sağlamış, üretimin hızlanmasını ve verimliliğinin artmasını mümkün kılmıştır. Bu dönüşüm, makineler arasındaki iletişim ve fiziksel insan müdahalesine gerek duymayan robot teknolojileriyle daha da somutlaşmış ve üretim süreçlerinde köklü değişiklikler yaratmıştır. Yeni iş kolları doğmuş, üretim aşamaları yeniden şekillenmiş ve geleneksel iş yapma biçimleri yerini dijitalleşen bir üretim modeline bırakmıştır.

Endüstri 4.0'ın yapı taşları olan siber fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri, bulut bilişim, sanal gerçeklik ve yapay zekâ teknolojileri, bir arada kullanılarak akıllı fabrikaların doğmasına yol açmıştır. Bu fabrikalar, merkeziyetsiz yönetim anlayışıyla işlemekte ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirebilmek için sensör verilerinden, simülasyonlardan ve artırılmış gerçeklikten yararlanmaktadır. Yapay zekâ ve robot teknolojilerinin üretim süreçlerine entegrasyonu hem verimliliği artırmakta hem de insan kaynaklı hataların önüne geçmektedir. Bu sayede daha kaliteli, güvenli ve düşük maliyetli üretim süreçleri elde edilmiştir. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın gelişmiş enerji verimliliği, hammadde israfının engellenmesi ve düşük iş gücü maliyetleri gibi avantajları, küresel ekonomilerdeki üretim stratejilerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Yeni dönemde, kalifiye iş gücüne olan talep artarken, daha az sayıda insanın çalıştığı, yüksek teknolojilere dayalı fabrikalar ortaya çıkmaktadır. Ancak, bu değişimin başarılı olabilmesi için gelişen teknolojilerin takip edilmesi ve iş gücünün bu yeniliklere uyum sağlaması gerekmektedir. Türkiye, bu bağlamda hem ekonomik hem de eğitim altyapısı bakımından Endüstri 4.0'a uyum sağlamakta zorluklar yaşamaktadır. Ülkemizin bu alandaki geri kalmışlığı, ileri düzeydeki teknolojilere dayalı sanayi yatırımlarının gerisinde kalmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, gerekli araştırmaların yapılması, eğitim altyapısının

güçlendirilmesi ve başarılı ülkelerin model alınarak stratejiler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Endüstri 4.0, iş sağlığı ve güvenliği açısından da önemli değişiklikler getirmektedir. Artan makineleşme ve robot kullanımının iş kazalarını azaltma potansiyeli olsa da yeni teknolojilerin neden olduğu güvenlik riskleri ve iş kazalarının önlenmesi için yeni yasal düzenlemeler gerekmektedir. Güvenlik sensörleri ve gerçek zamanlı verilerle çalışan izleme sistemleri, kazaların önlenmesinde etkili bir rol oynamaktadır. Ayrıca, bu dönemde iş gücüne olan talebin azalması, eğitilmiş ve kalifiye iş gücünün önemini artırmış, iş kazalarının azalmasına katkı sağlamıştır.

Gelinen noktada, Endüstri 4.0, hem üretim süreçlerinde hem de iş gücü dinamiklerinde büyük değişimlere yol açmaktadır. Bu değişim, sadece teknolojik gelişmelerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik stratejileri, iş gücü politikalarını ve iş sağlığı ile güvenliği anlayışını da yeniden şekillendirmektedir. Endüstri 4.0, doğru bir şekilde uygulanarak daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin önünü açmaktadır. Bu dönüşümün başarılı olabilmesi için ülkelerin, ilgili teknolojilere yatırım yaparak güçlü bir altyapı kurmaları, iş gücünü eğitmeleri ve stratejilerini bu yeni dönemin gereksinimlerine göre şekillendirmeleri gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Alçin, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(2), 19-30.
- Asiltürk, A. (2018). İnsan Kaynakları Yönetiminin Geleceği: İK 4.0. *Journal of Awareness (JoA)*, 3 (Special), 527-544.
- Bağcı, E. (2018). Endüstri 4.0: Yeni üretim tarzını anlamak. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 9(24), 122-146
- Bayraktar, E., ve Kaleli, F. (2007). Sanal Gerçeklik ve Uygulama Alanları. *Akademik Bilişim*, 1-6.
- Bayuk, M. N., ve Demir, B. N. (2019). Endüstri 4.0 Kapsamında Yapay Zekâ Ve Pazarlamanın Geleceği. *Sciences*, 5(19), 781-799.
- Calp, M. H., Bahçekapılı, E., ve Berigel, M. (2019). Endüstri 4.0 Kapsamında Akıllı Fabrikaların İncelenmesi.
- Can, E., ve Çelik, N. (2019). Endüstri 4.0 Sisteminde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Muhtemel Problemleri ve Çözüm Önerileri.
- Caner, V. Fiziksel Risk Etmenleri Maruziyetine Bağlı İş Kazası Ve Meslek Hastalıklarının Önlenmesinde Endüstri 4.0 Yaklaşımının Değerlendirilmesi. *OHS ACADEMY*, 4(1), 55-61.
- Çakıt, E., Aylin, A. D. E. M., ve Dağdeviren, M. (2020). Endüstri 4.0 Ergonomi İçin Tehdit Mi Fırsat Mı?. *Verimlilik Dergisi*, (3), 43-57.
- Çelik, N. (2019). Sanayinin geleceği Endüstri 4.0 ve iş sağlığı ve güvenliği (Doctoral dissertation, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı).
- Crawford, E. (2019). Made in China 2025: The Industrial Plan that China Doesn't Want Anyone Talking About, <https://www.pbs.org/wgbh/frontline/article/made-in-china-2025-the-industrial-plan-that-china-doesnt-want-anyone-talking-about/> (20.12.2024).
- Davutoğlu, N. A. Üçüncü ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel Ve Sistemik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşımla Analizi. *Management and Political Sciences Review*, 2(1), 176-194.
- Düzkaya, H. (2016). Endüstri devriminde dördüncü dalga ve eğitim: Türkiye dördüncü dalga endüstri devrimine hazır mı?. *Eğitim ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori ve Uygulama*, 7(13), 49-88.
- EBSO, (2015), "Sanayi 4.0" , Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü, www.ebso.org.tr/ebso-media/documents/sanayi-40_88510761.pdf (20.12.2024).
- Ekici, Ö. K. (2012). Üç boyutlu yazıcı teknolojisi. *Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık, 46(541), 24-29.
- Ercan, T., ve Kutay, M. (2016). Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 599-607.

- Ergün, E., Erdal, Ş, ve Osman, İ (2020). Endüstri 4.0 Çerçevesinde Firmaların Organizasyon Yapılarının İnsan Kaynakları Rollerine Etkisi. *Business ve Management Studies: An International Journal*, 8(3), 3393-3423.
- Fırat, S. Ü., ve Fırat, O. Z. (2017). Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: Kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye. *Toprak İşveren Dergisi*, 114(2017), 10-23.
- Gökten, P. O. (2018). Karanlıkta Üretim: Yeniçağda Maliyetin Kapsamı. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 20(4), 880-897.
- Kavzoğlu, T., ve Şahin, E. K. (2012). Bulut Bilişim Teknolojisi ve Bulut Cbs Uygulamaları. McKinsey ve Company. (2015). "Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector."
- Metesen, Akıllı Üretim Çağı: Endüstri 4.0 ve Getirecekleri, Erişim: 20.12.2024 <http://www.metesen.org.tr/akilli-uretimcagiendustri4-0/>
- Nevra, A. "Almanya'nın Endüstri 4.0 Vizyonu" Erişim: 12.12.2024 <https://www.endustri40.com/almanyain-endustri-4-0-vizyonu/>
- Osman, İRİ (2020). Endüstri 4.0 Perspektifinden Firmaların Organizasyon Yapısı Ve İnsan Kaynakları Rollerine Etkisi. (Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi)
- Özışık, T ve Şahin. B. E. (2022). Endüstri 4.0 teknolojilerinin iş gücü ve işin geleceğine etkileri, *Journal of Life Economics*. 9(2): 81-96, DOI: 10.15637/ jlecon.9.2.03
- Saracel, N , Aksoy, İ . (2020). Toplum 5.0: Süper Akıllı Toplum. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 9 (2), 26-34.
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 43-57.
- Şener, S., ve Elevli, B. (2017). Endüstri 4.0'da yeni iş kolları ve yüksek öğrenim. *Mühendis Beyinler Dergisi*, 1(2), 1-13.
- Taş, H. Y. (2018). Dördüncü sanayi devrimi'nin (endüstri 4.0) çalışma hayatına ve istihdama muhtemel etkileri. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 9(16), 1817-1836.
- Tonga, M.Y. ve Tonga, M. (2022). Endüstri 4.0'a Genel Bir Bakış: Sanayinin Geleceği, *Gaziantep Üniversitesi İslahiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, 6(6): 40-60
- Turan, H., ve Arğın, B. Endüstri 4.0'ın Ergonomiye Getirdiği Değişimler. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 9(4), 266-278.
- Türkmen, H. ve Akar, S. (2021). Dijital Ekonomi Çerçevesinde Türkiye'de Uygulanan Bütçe Politikaları, *Journal of Life Economics*, 8 (4): 499-512.
- Yazır, S. (2018). Türkiye'de Bulut Bilişimin Teknolojik Gelişimi Ve Bulut Platformu Üzerinde Örnek Bir Kişisel Web Uygulmasının Sunulması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*

- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 546-556.
- Yıldız, M., ve Yıldırım, B. F. (2018). Yapay Zekâ Ve Robotik Sistemlerin Kütüphanecilik Mesleğine Olan Etkileri. Türk Kütüphaneciliği, 32(1), 26-32.