

Tülin MERCAN
Muhammet ATALAY

ENDÜSTRİ 4.0

DİJİTAL TEKNOLOJİLER

Üretimde Dijital Dönüşüm



CİZGİ | e-Kitap



Bu çalışma 867707 tez numaralı ve Doç. Dr. Muhammet ATALAY danışmanlığında Tülin MERCAN tarafından tamamlanan "Endüstri 4.0 Unsurlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Bir Üretim İşletmesi Araştırması" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

ENDÜSTRİ 4.0

DİJİTAL TEKNOLOJİLER

Üretimde Dijital Dönüşüm

Tülin MERCAN
Muhammet ATALAY

Çizgi Kitabevi Yayınları (e-kitap)

©Çizgi Kitabevi

Aralık 2024

ISBN: 978-625-396-418-4

Yayıncı Sertifika No: 52493

KÜTÜPHANE BİLGİ KARTI

- Cataloging in Publication Data (CIP) -

MERCAN, Tülin – ATALAY, Muhammet

ENDÜSTRİ 4.0

DİJİTAL TEKNOLOJİLER

Üretimde Dijital Dönüşüm

ÇİZGİ KİTABEVİ

Sahibiata Mah.
M. Muzaffer Cad. No:41/1
Meram/**Konya**
(0332) 353 62 65

Konevi Mh.
Larende Cad. No:20/A
Meram/**Konya**
(0332) 353 62 66

Siyavuşpaşa Mh.
Gül Sk. No: 15 B
Bahçelievler/**İstanbul**
(0212) 514 82 93

www.cizgikitabevi.com

   / cizgikitabevi

ÖN SÖZ

Bilgi ve haberleşme teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler üreticilerin üretim süreçlerinde sürekli değeri artıracak teknolojiler üzerine çalışmasını sağlamıştır. Almanya’da Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bu değeri artırma çalışmaları 4. Sanayi Devrimi’nin tüm dünyada benimsenmesine öncülük etmiştir. İlk kez 2011’de Almanya’da düzenlenen Hannover Fuarı’nda ortaya çıkan Endüstri 4.0, daha sonra Alman Hükümet programına alınmış ve Endüstri 4.0 Çalışma Grubu oluşturulmuştur. 4. Sanayi devrimi, önceki sanayi devrimlerinden farklı bir yaklaşım olarak siber- fiziksel sistemlerle üretim sürecinin daha hızlı ve kaliteli olmasını sağlamaktadır.

Endüstri 4.0’ın temel hedefi, kişiselleştirilebilir ürünler için, üretimle ilgili avantajlar sağlamak amacıyla üretim unsurları arasında büyük bir iletişim ağı yaratmak, esnek ve kendi kendini organize eden üretim süreçleri oluşturmaktır. Endüstri 4.0 devriminde ön plana çıkan kendi kendini organize edebilmek gibi özelliklere sahip olan akıllı fabrikalar ve üretim süreçlerinde büyük önem taşıyacak olan bu süreçler her zaman kilit bir unsur olacaktır.

Günümüzde otomasyonun ön planda olduğu fabrikaların kullandığı bileşenler, araçlar, makineler, nakliye konteynerleri ve konveyör sistemleri Endüstri 4.0 ile sensörler ve iletişim sistemleriyle donatılarak hız, kalite ve verimlilik artışı sağlanacaktır. Sanal gerçeklik, simülasyon ve sanal prototiplerin oluşturulmasıyla meydana gelen akıllı fabrikalar; ürünün piyasaya sunulmadan geleceği hakkında bilgi aktarmasına kısaca geleceği öngörmemizi

sağlayarak doğru kararlar almamıza, hızlı, kaliteli ve daha az maliyetli ürünler üretmemize olanak sağlayacaktır. Bu bakış açısıyla işletmelerin bu süreçten kendilerini ayrı tutmaları mümkün değildir.

Bu kitap, Endüstri 4.0 kavramına genel bir bakış açısı ortaya koymak için hazırlanmıştır. Bu kitapta sırasıyla tarihsel süreçte sanayi devrimleri, Endüstri 4.0 kavramı, Endüstri 4.0'a geçişin gerekçeleri, Endüstri 4.0'ın diğer devrimlerden temel farklılıkları ve temel özellikleri, avantaj ve dezavantajları ve son olarak Endüstri 4.0 teknolojileri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Bu eser, birinci yazar tarafından ikinci yazar danışmanlığında tamamlanan "Endüstri 4.0 Unsurlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Bir Üretim İşletmesi Araştırması" başlıklı doktora tezinin bilhassa girişi ve bir bölümü esas alınarak hazırlanmıştır. Bunda yazarların amacı, tezin hazırlanma sürecindeki yoğun çalışmalarla derlenen bu bilgilerin daha fazla yayılmasını sağlayarak geniş kitlelere ulaşmasıdır. Okurlarımızın gösterilen özene rağmen kitapta yer alabilecek hatalarla ilgili yazarlara ulaşmasından memnuniyet duyacağımızı bildiririz. Bu kitabın yayımlanmasında emeği geçen Çizgi Kitabevi yetkili ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kitabın her sektörde ve bilhassa üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelere, araştırmacılara ve tüm okuyuculara faydalı olmasını dileriz.

İÇİNDEKİLER

ENDÜSTRİ 4.0 VE TEKNOLOJİLERİ	8
1.TARİHSEL SÜREÇTE SANAYİ DEVRİMLERİ.....	10
1.1. Birinci Sanayi Devrimi	11
1.2. İkinci Sanayi Devrimi.....	12
1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi	15
1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi.....	17
2. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI.....	19
3. ENDÜSTRİ 4.0'A GEÇİŞİN GEREKÇELERİ	24
4. ENDÜSTRİ 4.0'IN TEMEL FARKLILIKLARI VE ÖZELLİKLERİ.....	27
4.1.Endüstri 4.0'ın Önceki Devrimlerden Temel Farklılıkları	27
4.2.Endüstri 4.0'ın Temel Özellikleri	30
5. ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	32
5.1. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Avantajları	32
5.2. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Dezavantajları.....	34
6. ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ	36
6.1.Büyük Veri.....	36
6.2.Otonom (İşbirlikçi) Robotlar	38
6.3.Simülasyon	40
6.4.Sistem Entegrasyonu	43
6.5.Nesnelerin İnterneti.....	44
6.6.Siber Fiziksel Sistemler	46
6.7.Bulut Bilişim	48
6.8.Eklemeli Üretim	51
6.9.Artırılmış Gerçeklik.....	52
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	56
KAYNAKÇA	57

ENDÜSTRİ 4.0 VE TEKNOLOJİLERİ

Endüstri 4.0, Alman Hükümeti ve endüstrisi tarafından üretim teknolojilerinin otomatikleştirilmesi için yeni bir model olarak başlatılan bir programdır. İlk olarak 2011 yılında tanıtılan Endüstri 4.0, Almanya'nın yıkıcı dijital teknolojik yeniliklerin entegrasyonu yoluyla imalat sektörünü canlandırma planını temsil etmektedir. İdeal performansla ulaşmak için birbirleriyle bağlantı kuran bilgi teknolojileri ve otomasyonun bir araya gelmesiyle yeni teknik yetkinliklerin ortaya çıktığı geleneksel üretimden dijital üretim devrimine geçiş sürecini ifade etmektedir.

Endüstri 4.0 konsepti, dijitalleşmeyi ve bilişim teknolojilerinin aktif kullanımını büyük ölçüde desteklemektedir. İşletmeleri ürünlerini yenilemeye, üretim süreçlerini iyileştirmeye ve yeni teknolojiler kullanmaya teşvik etmektedir. Endüstri 4.0, imalat endüstrisi için üretkenliği ve esnekliği artırmayı vaat etmekte; bu da daha fazla müşteri değeri ve daha düşük maliyetler anlamına gelmektedir. Endüstri 4.0, kaynakların etkin kullanımını artırarak sosyal, ekonomik ve çevresel alanlarda uzun vadeli kalkınmayı ve sürdürülebilir değer oluşumunu teşvik etmek için muazzam bir imkâna sahiptir. Endüstri 4.0 gelişimi, iş operasyonlarının yönetimini değiştirmekte ve yeni stratejik düşüncelere yol açmaktadır.

Endüstri 4.0 teknolojileri ekonomi ve toplum üzerinde büyük etkiler vaat etmektedir. Endüstri 4.0 dönüşümünün üreticiler için ürün kalitesi, operasyonel verimlilik, ürün ve süreç inovasyonu, operasyonel esneklik ve işgücü verimliliği dahil olmak üzere sayısız fırsat sunacağına

inanılmaktadır. Dijital üretim ve otomasyon teknolojileri firmalara yeni olanaklar sağlayarak esnek, işbirlikçi ve esnek bir şekilde performans gösterme yetenekleri, daha yüksek maliyet verimliliği ve üretkenlik sağlamaktadır. Aynı zamanda piyasa rekabetine fayda sağlayarak gelişmiş ekonomilerde genel ekonomik ve üretkenlik artışına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında, dijital teknolojiler sayesinde aşırı üretim, enerji tüketimini ve israfı etkin bir şekilde yönetilerek çevre dostu endüstriler yaratılabilmektedir. Ayrıca bu teknolojiler, üretim süreçlerindeki belirsizliğin üstesinden gelmeye ve otomasyon yoluyla insan hatası riskini azaltmaya yardımcı olan doğru ve zamanında bilgiler sağlamaktadır. Böylelikle Endüstri 4.0 üretim sürecinde iyileşme, enerji tasarrufu sağlama ve bilgi belirsizliğini ve israfını azaltarak, firmaların sürdürülebilirlik performansını daha iyi hale getirmeye yardımcı olmaktadır.

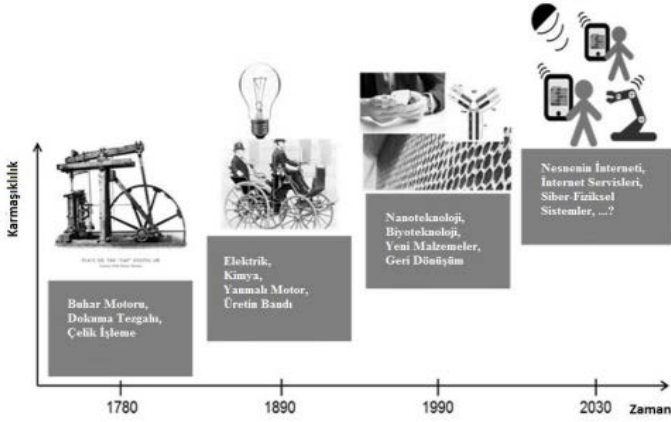
Bu kitapta, tarihsel süreçte sanayi devrimleri, Endüstri 4.0 kavramı, Endüstri 4.0'a geçişin gerekçeleri, avantajları ve dezavantajları, diğer sanayi devrimleri ile olan farklılıkları, Endüstri 4.0'ın unsurları ve üretim süreçlerine olan etkileri incelenecektir.

1.TARİHSEL SÜREÇTE SANAYİ DEVRİMLERİ

Yaklaşık 1760 yılında gerçekleşen ilk Sanayi Devrimi'nden bu yana, insanlık tarihi boyunca toplam dört Sanayi Devrimi meydana gelmiştir. Her Sanayi Devrimi, üretimde gelişme sağlamış ve insanın yaşam tarzını her yönüyle değiştirmiştir.

Endüstrinin teknoloji ile aynı doğrultuda ilerleyerek, insan ihtiyaçları ve ticaret dinamiklerinde farklılıklar yaratması yaşanan büyük değişikliklerin yıllar içinde tekrarlanmasına sebep olmuştur. 1700'lü yıllarda buhar makinesinin icadı ile kas gücünün yerini mekanik kuvvete bırakması sonucu artan üretim, 1900'lü yıllarda elektriğin kullanılmaya başlanmasıyla kesintisiz üretimi olanaklı kılmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında elektronik devreler ile üretimde otomasyona geçilmiş, 21. yüzyıla gelindiğinde ise tüm bu gelişmelerin üzerine internet kullanımının yaygınlaşması birbiri ile iletişim kurabilen Siber Fiziksel Sistemler desteklemiştir (Sarı, 2020: 5). Şekil 1 ile endüstri devrimlerindeki etkileşimli ilerleme zaman çizelgesi üzerinde gösterilmektedir.

Şekil 1: Endüstri Devrimlerinin Kronolojisi



Kaynak: Dombrowski ve Wagner, 2014: 101

1.1. Birinci Sanayi Devrimi

Endüstriyel devrim kavramı, sanayideki teknolojik, sosyal ve ekonomik sistemlerin değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu kavramın odak noktası ekonomik zenginlik, çalışma ve yaşam koşullarının değişmesidir. İngiltere’de 18. yy.’ın ortalarında, sanayi açısından ilk gelişme başlamış ve daha sonra ABD’nin ardından Almanya gibi Avrupa ülkeleri de tarım toplumunu endüstriyel bir topluma dönüştürmeye başlamıştır (Dombrowski ve Wagner, 2014: 100).

1712 yılında Thomas Newcomen tarafından icat edilen buhar makinesi ile Birinci Sanayi Devrimi başlamış ve 1760’lı yıllarda James Watt tarafından temelden geliştirilen bu buhar makinesi ilk olarak dokuma tezgâhlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu büyük başarı demiryollarının yapımı ve buhar makinelerinin desteği ile mekanik üretimi olanaklı hale getirmiştir. Özellikle Birinci Sanayi

Devrimi'nin gerçekleştiği İngiltere'de küçük atölyelerin yerini fabrikaların alması, makinelerin etkin bir biçimde kullanılması ile üretim daha kolay ve seri hale gelmiştir (Özkan, Arzu ve Yavuz, 2018: 130). Ortaya çıkan seri üretim, ürün ve süreçlerin standardizasyonu ile karakterize edilmektedir (Dombrowski ve Wagner, 2014: 101).

Bu doğrultuda, üretim insanların kas gücü ile yapılırken buhar gücünün bulunması ile yerini mekanik kuvvete bırakmış ve bu durum mekanik kuvvetin üretime entegre edilmesini sağlamıştır. Tekstil makineleri, lokomotif, telgraf ve buharlı gemi Endüstri 1.0 ile ortaya çıkan icatlar olmuş ve kıtalar arası haberleşme başlamıştır. Toplumsal yaşamda fabrika işçisi felsefesinde bir dönüşüm gerçekleşmiş, zanaatkârlıktan ve toprağa dayalı üretim şeklinden hızla uzaklaşmıştır. Endüstri 1.0 ile dünyada ortalama gelirin ve kentleşmenin artması, yaşam standardının yükselmesi, çalışan bir toplum için planlanan yeni yasaların oluşturulması ve yeni yeteneklerin elde edilmesi gibi pek çok gelişme yaşanmıştır. Bu da toplumların hayat standartlarını düzeltmek istediği yeni bir paradigmayı ortaya çıkarmıştır (Doğan ve Baloğu, 2020: 59).

1.2. İkinci Sanayi Devrimi

İkinci Sanayi Devrimi 1870 yılı ile doğu bloğunun çöküşü olan 1989 yılı arasındaki süreci kapsamaktadır. Bu dönemde endüstri ve ulaşımda petrolün önemi anlaşılmış, küreselleşmenin etkinliği artmış ve ulaşım alanındaki terfi hızlanmıştır (Görçün, 2016: 51).

19. yy.'ın ikinci yarısında, Avrupa ve ABD sanayi ve makineleşmede daha fazla ilerleme kaydetmiştir. Buluşun

ve bilimsel ilerlemenin bu yeni aşamaları, önceki on yılların Sanayi Devrimi'nden tamamen ayrı değildi. Bununla birlikte, tarihçiler 1800'lerin son yıllarındaki yenilikleri genellikle İkinci Sanayi Devrimi olarak tanımlamaktadır (McNeese, 2000: 1).

İkinci Sanayi Devrimi, 20. yy. başlarında elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması ile olanaklı hale gelen iş bölümü ve seri üretimin ortaya çıkışı ile gerçekleşmiştir. Bu teknoloji devrimi, Henry Ford'un Cincinnati'deki mezbahalarda bulunan sistemi araba fabrikasına uyarlaması ve Ford T'nin üretime başlaması ile hızlanmıştır. Bu döneme Fordizm de denilmektedir. Kayan bant sistemi üretimin temel özelliğidir. Kitlelî üretim de bu sistem ile mümkün hâle gelmiştir. Bu sayede Ford, T model arabasının fiyatını 850 dolardan 375 dolara indirerek satış grafiğini kısa sürede yükseltmiştir. Bu dönemde, ülkeler üretim ile ilgili temel stratejilerini Fordizm'in kitlelî üretimi doğrultusunda oluşturmuştur (Asar ve Esen, 2021: 459). Bu bağlamda İkinci Endüstri Devrimi üretimde hız kazanılmasını ve ürünlerin kaliteli olmasını da beraberinde getirmiştir. Bu duruma, iş bölümü ve seri üretim gibi faktörler ve elektrik, petrol ve yeni üretim süreçlerinin kullanılması yol açmıştır. Ayrıca fabrikalar, otomasyonla daha fazla çalışabilecek koşullara ve makinelere sahip olmuş ve insanların yapması gereken iş miktarı azalmıştır (Doğan ve Baloğlu, 2020: 59). 1913'te Ford ile başlayan üretim bandı teknolojisi üretimde verimlilik artışını gerçekleştirerek bu tekniğin diğer sektörlerle de yansımaları sağlamıştır (Bulut ve Akçacı 2017: 52).

Fakat müşteri tercihlerinde yaşanan farklılaşma, rekabette yaşanan artış ve 1973 petrol krizi sonrasında

Fordizm'in sunduğu kitlesel üretim modeli işlevsizleşerek çıkmıştır. 1970'lerin ortalarında ise üretiminde kullanılan otomasyon elektronik ve bilgi teknolojilerinin artan kullanımı ile daha yüksek bir düzeye taşınarak Üçüncü Sanayi Devrimi ortaya çıkmıştır (Asar ve Esen, 2021: 459).

Birinci ve İkinci Sanayi Devrimi arasında bazı önemli farklılıklar vardır. Birinci Sanayi Devrimi sırasında, tekstil üretiminin iyileştirilmesi ve makineleştirilmesine ve üretken olan her şeye buhar gücünün uygulanmasına vurgu yapılmıştır. Ayrıca, ilk demiryollarını ve buharlı gemileri geliştirmek için buhar kullanılmıştır. Ancak İkinci Sanayi Devrimi kapsam olarak farklıdır. İkinci Sanayi Devrimi, ağır sanayi üretimine dayanıyordu. Bisikletten telefona, daktilodan taşınabilir kameraya kadar önemli buluşlar da bu aşamaya damgasını vurmuştur. Bu dönemde elektrik, telefon, telgraf, su ve doğalgazın iletimi için demiryolu ile geliştirilen şebekeler gibi gelişmeler yaşanmıştır. Devletler demiryolu ölçüleri, daktilo klavyesi türleri, elektrik voltajları, trafik kuralları gibi standartları belirli üretim ve hizmet sektörleri için uygulamaya başlamıştır. Buna ek olarak bu dönemde, işçilerin sosyal hak ve refah talepleri doğrultusunda sendika örgütlenmeleri de ortaya çıkmıştır. Ayrıca, sanayileşmenin bu ikinci aşamasında, elektrik ve benzin gibi yeni güç kaynakları, temel güç kaynakları olarak buharla ciddi şekilde rekabet etmeye başlamıştır. İkinci Sanayi Devrimi'nin kapsamını kimya, metalurji ve iletişim alanlarındaki gelişmeler de belirlemiştir (McNeese, 2000: 1).

1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi

Üçüncü Sanayi Devrimi'ni hayata geçiren kavram, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve internetin de hızla ilerlemesi olmuştur. Bu durum Üçüncü Sanayi Devrimi'nin informatik devrim olarak bilinmesini sağlamış ve bilgisayar veya dijital devrim olarak da adlandırılmıştır (Doğan ve Baloğlu, 2020: 60). Seri üretimde elektriğin kullanılması ve üretim hattının iyileştirilmesi bu devrimi tetiklemiştir. Böylece programlanabilir makinelerin kullanılmasıyla dijital teknoloji üretimde mekanik ve elektronik teknolojilerin yerini alarak Üçüncü Sanayi Devrimi ortaya çıkmıştır. Bu devrime nitelik açısından bakıldığında Birinci ve İkinci Sanayi Devrimine göre biraz farklıdır. Bilgi işlem ve haberleşme yöntemleri ve bu yöntemlerin ortak aracı konumundaki mikro elektronik bu devrimin temel unsurlarıdır (Çeliktaş ve öte., 2015: 24).

Üçüncü Sanayi Devrimi, sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçiş süreci olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayarlar, mekanik elektrikle çalışan hesap makineleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Sonrasında bilgisayar sistemi içinde makinelerin birbiri ile iletişim kurmasını sağlayacak bir ağ arayışı internet tarihinin başlangıcı olmuştur. Gün geçtikçe bilgisayarların işlem gücü hızla artmış ve makineler ortaya çıkmıştır. Akıllı makinelerin ortaya çıkması ile robotik sanayi hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. Bu durum da insan gücünün üretimde azalmasına ve ilk kez insanların yerine üretimde robot makinelerin daha fazla kullanılmasına sebep olmuştur. Üretim sistemleri elektronik ve bilgisayar teknolojisinin makine sektörü ile bütünleştirilmesi sonucu otomatikleşmiş ve üretimin otomasyonunu sağlamıştır (Genç, 2018: 238).

20. yy.'ın ortalarında ağır sanayi ve bilgi teknolojisinde yaşanan gelişmelere bağlı olarak bilgi toplumu kavramı ortaya çıkmıştır. Bu durum, atom enerjisinin gelişmesini, fiber optik, mikro elektronik ve çip teknolojisi üretimini de muhtemel hale getirmiştir (Yücel, 2004: 100-101). Mikro-çiplerin geliştirilmesi gündelik hayatta pek çok yeniliğin başlangıcı sayılmaktadır. İnternetin ve fiber optik ağların gelişmesi ile üretimde sağlanan otomasyon gibi gelişmeler sonucunda ortaya çıkan akıllı üretim sistemleri ve Nesnelerin İnterneti kavramları Dördüncü Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkmasında kilit rol oynamaktadır (Genç, 2018: 238).

Endüstri devrimleri ile yaşanan ilerlemelerde artan makine kullanımını izleyen süreçte gelişen kitle üretim sisteminin kullanımı Üçüncü Endüstri Devrimi'nde de devam etmiştir. Bu dönemde yalın üretim anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu anlayış tedarik zincirinden yönetim süreçlerine kadar pek çok alanı etkilemiştir. Yalın üretimin temelinde israfın ortadan kaldırılması vardır. Entegre sistemler ve otomasyon bu konuda yardımcı bir ilerleme olarak görülmüştür. Üçüncü Endüstri Devrimi ile oluşan diğer bir durum da tedarik zincirinin küreselleşmesidir. Bu süreçte ürünlerin sadece bir noktada üretilmesi değil üretim sürecinin birden fazla yere taşınması görüşü oluşturulmuştur. Bu sistem, ürünleri yerel olmaktan çıkarıp küresel bir kalıba sokmuştur. Dolayısıyla bu dönemde, işletmeler belirli bir noktaya bağlı kalmadan yeni pazarlar, yani üretim hacimlerini artıracabilecekleri büyük fırsatlar yakalamışlardır (Sarı, 2020: 21-22).

1.4. Dördüncü Sanayi Devrimi

1760’larda imalatın mekanizasyonu ve su ve buhar gücünün kullanımı, üretim süreçlerinde önemli değişiklikler getirerek, insanın fiziksel çabasının makinelerle değiştirilmesini, ürün miktarının ve verimliliğin artmasını sağlamış ve bu süreç genel olarak Birinci Sanayi Devrim olarak adlandırılmıştır. 1800 civarında, elektrik ve çelik endüstrisi, seri üretime olanak sağlayan İkinci Sanayi Devrimi’ni getirdi. 1969’da bilgisayarlar, yazılımlar, bilgi teknolojisi, ilk programlanabilir mantık denetleyicileri, robotlar ve elektronikler tanıtıldı ve Üçüncü Sanayi Devrimi üretim süreçlerini otomatikleştirdi. Dördüncü Sanayi Devrimi, ilk kez 2011 yılında Hannover Fuarı’nda, Alman Hükümeti’nin, “dijital üretim” veya “Endüstriyel” olarak da adlandırılan Endüstri 4.0 iletişim ağı tarafından desteklenen, fabrikaların iç ve dış ortamları arasındaki bağlantı yoluyla değer yaratma programı olarak başlatılmıştır. Endüstri 4.0; IoT, internet, ağlar ve CPS temelinde dünya çapında üretim süreçlerini dönüştüren tüm dijital teknolojileri kapsayan bir şemsiye terim olarak görünmektedir (Satyro ve öte., 2022: 2).

Endüstri 4.0 devrimi, Almanya’nın bu yaklaşımı sanayi programı olarak görmesi ile resmen başlamış ve bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Endüstri 4.0 için bir araya gelen çalışma grubu her sene rapor hazırlamakta ve bu raporu sunmaktadır (Görçün, 2016: 141-142). Kamu kuruluşları, STK’lar, üniversiteler ve Siemens gibi alanında lider olmuş şirketlerin temsilcilerinden oluşan çalışma grubunun yaklaşık 50 üyesi vardır. Grup Alman Hükümeti’ne “Industrie 4.0” başlığı altında, endüstriyel üretimde başarıyı yakalamak için ortaya atılan teknolojik gelişmeleri

kullandıracak teklif niteliği taşıyan yol haritası sunmuştur. Almanya, bu yol haritasını kabul edip yayımlamıştır (Yalçınkaya, 2019: 5).

Endüstri 4.0 kavramı, bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler sonucunda üretim sistemlerinin dijital dönüşümüdür. Bu dönüşümün ana hedefi üretim sürecinde yer alan her zincirin dijitalleşmesi ve akıllı üretim sistemlerinin makine, insan ve altyapı etkileşiminin sağlanarak geliştirilmesidir (TÜBİTAK, 2017: 1). Endüstri 4.0 felsefesinin odak noktasını, insan gücü ihtiyacını ortadan kaldırıp otonom olarak faaliyet yürüten makineler ve üretim sistemleri oluşturmaktadır Sadece akıllı ve birbiri ile iletişim kurabilen makine ve sistemlerin yanında teknolojilerin birbirine entegre olması ve biyolojik, fiziksel ve dijital alanlarda etkileşim kurabilme yeteneklerinin olması da önemlidir. Nano teknoloji, gen dizileme, yenilenebilir enerji gibi birçok alanda uygulanmaktadır (Schwab, 2016: 17).

2. ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI

Endüstri 4.0'ın Dördüncü Sanayi Devrimi'nin Almanca versiyonu olduğu ve terimin, özellikle endüstriyel üretimde, katma değer yaratan tüm sistem örneklerini dijitalleştirme ve entegre etme fırsatlarını vurgulamak için oluşturulduğu savunulmaktadır (Chung ve Chung, 2021: 1694).

Japonya'nın da kullandığı Endüstri 4.0 kavramı, ABD'de "Her şeyin İnterneti" (Internet of Everything), Çin'de "İntenet +" olarak kullanılmaktadır. Bu süreç, diğer Avrupa ülkelerinde genel olarak "Geleceğin Fabrikaları"nın ortaya çıkışı olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, şirketlerden General Electric "Endüstriyel İnternet" (Industrial Internet), Bosch "Bağlantılı İmalat" (Connected Manufacturing) terimlerini kullanmaktadır. Yine farklı bir yorumlama olarak "Gelişmiş İmalat (Advanced Manufacturing) veya "Öngörücü İmalat" (Predictive Manufacturing) terimleri de kullanılmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2020: 49).

"Akıllı Üretim" (Smart Production Manufacturing) veya "Akıllı Fabrikalar" (Smart Factory) olarak nitelenen Endüstri 4.0 teknolojisi, özetle insanın, dokunmanın ve ışığın olmadığı üretim şekli ("No Man", "No Touch" ve "No Light") olarak betimlenmektedir (Kagermann ve Wahlster, 2022: 2-3).

Endüstri 4.0 değer zinciri boyunca süreçlerin entegrasyonunu gerektirmektedir. Üç entegrasyon boyutu yatay entegrasyon, dikey entegrasyon ve uçtan uca mühendislik

ile ifade edilmektedir (Vaidya, Ambad ve Bhosle, 2018: 235).

Dördüncü Sanayi Devrimi'nde başarı sağlamak için sekiz adımın tamamlanması gerekmektedir. Bu adımlar (Kagermann, Wahlster ve Helbig, 2013: 14):

- Mimari ve standartların bütünleştirildiği güvenlik taktikleri,
- Ürünler, süreçler ve makinelerin kendine özgü güvenlik kimliklerinin elde edilmesi,
- Endüstri 4.0'a geçiş planlarının hazırlanması,
- Kullanıcı dostu güvenlik ve emniyet çözümlerinin sunulması,
- Güvenlik ve emniyet tedbirlerinin işletme yönetimi açısından dikkate alınması,
- Ürün telif haklarının ve ürüne karşı olabilecek kor-sanlığın önlenmesi,
- Kolektif verinin himaye edilmesi için ortak protokol ve kurallarının belirlenmesi,
- Kaynakların verimli kullanılmasıdır.

Endüstri 4.0 ile öngörülen yeni üretim modelinin başlıca amaçları şunlardır (Frank, Dalenogare ve Ayala, 2019: 16):

- Özerk karar verme süreçlerini mümkün kılmak,
- Ürünleri ve imalat süreçlerini anlık izlemek,
- Paydaşların erken katılımını sağlamak,
- Sistem Entegrasyonu yoluyla gerçek zamanlı, bağlantılı ve eşit derecede değer yaratma ağlarını etkinleştirmek.

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin gelişimi, genellikle Alman uzmanlar tarafından önerilen Endüstri 4.0

konseptiyle eş tutulur. Günümüzde akıllı makineler, ekipman, otonom ulaşımdan oluşan CPS kullanımı yaygındır. CPS'nin tüm unsurları, yüksek işçilik maliyetlerini düşürürken üretim ürünleri boyunca büyük miktarda bilgiyi toplama, işleme ve değiştirme yeteneğine sahip dijital teknolojiler (Büyük Veri, IoT, Bulut Bilişim, Artırılmış Gerçeklik, vb.) için de iletişim kurar. Ayrıca modern dijital teknolojiler, sistem öğelerini gerçek zamanlı olarak izleyerek ve kontrol ederek üretim süreçlerinin verimli yönetimi için hem gerçek hem de sanal ortamlarda makine-makine ve makine-insan iletişimine izin verir. Endüstri 4.0 teknolojileri enerji tüketimini azaltmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojileri, enerji güvenliğinin sürdürülmesini, enerji maliyetlerinin azaltılmasını ve çevrenin korunmasını etkileyen üretim süreçlerinin artan enerji verimliliği ile karakterize edilir. Modern endüstriyel enerji yönetimi, tek bir makinenin yanı sıra bir üretim hattı veya her organizasyonda işleyen tüm altyapı açısından teknolojik yeteneklerden yararlanmak anlamına gelir. Minimum enerji gereksinimlerine sahip kablosuz sensörlerin uygulanması, doğru ölçümler yapmalarına ve normdan sapmaları veya arızayı gösterebilecek sinyallere ilişkin herhangi bir sapmayı analiz etmelerine olanak tanımaktadır (Saniuk, Grabowska ve Grebski, 2022: 2677).

Endüstri 4.0 kavramına bağlı olarak günümüzde geleceksel üretim süreçlerinde ve ürünlerde dönüşüm yaşanmıştır. Akıllı telefonların ve elektrikli arabaların ortaya çıktığı sembol ürünler bu dönüşümün örnekleridir. Yine bu devrimin başlıca çıktıları arasında akıllı şehirler, akıllı elektrik sistemleri ve akıllı fabrikalar gösterilebilir. Üretim ve iletişim şekillerindeki temel değişimin bu endüstri döneminde, daha önceki endüstri devrimlerine göre çok daha

hızlı ilerlediği gözlemlenmiştir. Bu yeni dönem üretim biçimlerini hızlı ve kökten değiştirmeyi talep ederek, daha dijital ve akıllı sistemlerle donatılmış fabrikalara sahiptir. Bu durum devletlerin ve özel şirketlerin rekabetini etkilemektedir. Bu bağlamda Endüstri 4.0'a adaptasyon ve yenilikçi buluşlar konusunda devletlerin ve özel şirketlerin ortaya çaba koyması gerekmektedir (Kwon, Lee ve Lee, 2017).

Endüstri 4.0, akıllı ürünler, süreçler ve prosedürler oluşturmaya odaklanmıştır. Akıllı fabrikada işçiler, makineler ve kaynaklar kolayca iletişim kurar. Endüstri 4.0'ın özü, IoT ve hizmetlerin internetidir. Bu da insanların, nesnelerin ve makinelerin her yerde bulunan bağlantısı anlamına gelmektedir. Ürünler, nakliye ekipmanları ve araçları, sonraki her üretim adımını daha iyi yaratmak için iş birliği yapar. Bu yol, sanal dünyanın ve gerçek dünyadaki fiziksel nesnelerin bağlantılarına yol açar. Akıllı ürünler, kendileri hakkında tüm bilgilere sahiptir. Üretim zamanını, üretim koşullarını, stoklarının nerede olduğunu, teslim süresini ve diğer önemli bilgileri bilirler (Crnjac, Veža ve Banduka, 2017: 22).

Endüstri 4.0, akıllı cihazların bir şebekeye bağlandığı ve hammadde, yarı mamul, mamul, makine, robot ve çalışanlar ile iletişime geçtiği akıllı fabrikadır. Bu endüstri, esneklik, kaynakların verimli kullanımı ve müşterilerin ve iş ortaklarının iş süreçleri ile bütünleşmesi olarak karakterize edilir. Ağa bağlı bir fabrikada, robotlar ve çalışanlar, önceki nesil robotlara kıyasla daha yüksek bir yapay zekâ derecesine sahip olarak eşit ortaklar haline gelmektedir. En ufak bir sinyale tepki veren algılama sensörleri robotların içine yerleştirilmiştir, bu da robotlar ve işçiler arasındaki iş birliğini sağlamaktadır. Dijital teknolojinin kullanımı iş

modellerinde köklü değişikliklere yol açmaktadır. Bunu başarmak için, dijital inovasyon gereklidir. Pek çok yeniliğin mümkün olan en kısa sürede gerçeğe dönüşmesi için üretimin daha esnek hale gelmesi gerekmektedir. Bu noktada verilerin gerçek zamanlı değerlendirilmesi için donanım ve yazılım çözümleri bu amaca ulaşmaya yardımcı olacaktır. Tüm bu faaliyetlerin amacı üretkenliği ve verimliliği artırmaktır. Daha verimli üretim ve enerji tasarrufu da küresel pazarda rekabet edebilirliği sağlamaktadır (Vuksanović, Vešić, ve Korčok, 2016: 294). Endüstri 4.0 kendi içinde birbiri ile entegre olmuş değer zincirleri şeklinde tanımlanabilir. Bu entegrasyonun en temel özelliği ise; zincirin tüm adımlarının birbiriyle sürekli ve eş zamanlı iletişim kurmasıdır. Aslında bu iletişim akıllı ve kendini ikaz edebilen bir sanayi sürecini oluşturmuştur. Dijitalleşen bu süreç de beraberinde hızlı, esnek, kaliteli ve verimli bir sanayi entegrasyonunu getirmektedir (Mercan, 2022: 134).

Endüstri 4.0 sürdürülebilir endüstriyel kalkınmaya önemli bir katkı sağlamaktadır. Endüstri 4.0 üst düzey dijitalleştirme, sanallaştırma ve entegrasyonuna dayalı olarak endüstriyel atıkları en aza indirebilir, hammadde ve doğal kaynakların verimli kullanımını iyileştirebilir ve enerji tüketiminin verimliliğini artırabilir (Chung ve Chung, 2021: 1693).

Sonuç olarak Endüstri 4.0; internetin yaygın bir şekilde kullanılarak hammadde temininden üretime, dağıtımdan bilgi akışına ekonominin tüm alanlarında bilgisayarlaştırılması ve robotlaştırılması olarak resmedilebilir (Schwab, 2017: 24-31).

3. ENDÜSTRİ 4.0'A GEÇİŞİN GEREKÇELERİ

İşletmelerin ekonomik durumları için rekabet imkânlarının giderek azalması ve yeni fırsatlar aramaları Endüstri 4.0 vizyonuna neden gerek duyulduğunun en büyük sebebi olarak görülmektedir (Yalçinkaya, 2019: 5). Yeni sanayi devrimine geçişin bazı nedenleri vardır (Yıldız, 2019: 12-15):

Birincisi Doğu ülkelerinin (Çin, Malezya, Singapur vb.) ucuz işgücü nedeniyle Batılı fabrikaları kendi ülkelere çekmeleri sonucu, üretimin Doğu'ya kaymasıdır. Batı ülkelerinde birçok fabrika üretime son vermeye başlamış ve işsizlik yükselmiştir. Bu durum, Batı'da refah seviyesinin düşmesi gibi olumsuz bir duruma neden olmasına karşın, havayı kirleten, kanser gibi ölümcül hastalıklara sebep olan fabrikaları yok ederek, Batı'yı temiz havaya kavuşturmuştur. Doğu ise çevreyi yok eden, kanseri büyük ölçüde artıran fabrikalarla mücadele etmektedir. Öte yandan teknoloji transferi hâlâ Batı'dan Doğu'ya olduğundan Doğu ülkeleri hâlâ Batı'ya bağımlı durumdadır. Ancak Çin başta olmak üzere Doğu ülkeleri son yıllarda önemli teknolojik atılımlar yapmaya ve kendi teknolojilerini üretmeye başlamışlardır. Bu durum da Batı ülkeleri için önemli bir gözdağı oluşturmaktadır.

Diğer bir neden ise dünyanın zenginliği arttıkça müşterilerin kişiselleştirilmiş ürünlere yönelmesi ve seri üretim tesislerinin artık güçlü bir rekabet avantajı oluşturmamasıdır. Günümüzde esnek üretim sistemlerine entegre olan fabrikalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ucuz işgücü ve seri

Üretim fiyat/rekabet avantajı sağlamaktadır. Günümüzde insanlar evde 3 boyutlu (3D) yazıcılar kullanarak çok küçük miktarlarda üretim yaparak, esnek üretim olanağına kavuşmuş, üretim yeniden eve dönmeye başlamış ve seri üretim olumsuz etkilenmiştir. Müşterilerin bireysel ürün talep etmeye başlaması seri üretim durdurulması ve makinelerin sürekli olarak ayarlanması yüksek maliyetlere ve zaman kaybına yol açacaktır. Seri retim sistemini bozmadan esnek bir şekilde üretim yapabilen, birbirleriyle iletişim kurabilen ve karar verebilen Otonom Robotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, Endüstri 4.0'a geçişin gerekli olduğunun göstergesidir.

nc sebep ise yapay zekâ uygulamalarının üretim sürecine entegre edildiği teknolojilere ihtiyaç duyulmasıdır. Bilgisayarlar tarafından üretim planlanması pazara çıkış sürelerini kısaltmaktadır. Burada amaç inovasyon döngülerini azaltmak ve aynı zamanda müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir üretim sistemi sağlamaktır. Bu durumda ürünlerini en hızlı şekilde pazara sunan firmalar rekabet avantajına sahip olacaktır. Batı, ucuz işgücüne sahip Doğu lkelerinin elde ettiği rekabet avantajından yararlanmak istemektedir. Bunun içinde müşteri ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde karşılayan firmalara ihtiyaç duyulmaktadır. rnlerin en kısa sürede pazara sunulması inovasyon süreçlerinin hızlandırılması ile gerçekleştirilmektedir. Endüstri 4.0 inovasyon süreçlerini hızlandırarak, ürünlerin geliştirme ve tasarımı aşamasını en kısa sürede gerçekleştirmekte ve pazara sunum sürecini hızlandırarak yüksek getiri elde edebilmektedir. Günümüzde işletmelerin daha yüksek kâr oranlarına erişebilmeleri, AR-GE ve tasarımı aşamalarından sonra ürünlerini hızlı bir şekilde

pazara sunmaları sonucunda benzer ürünler arasından hızlı bir şekilde sıyrılmaları ile mümkün olmaktadır. Bu süreçte süreleri ve buna ek olarak maliyetleri düşürmeleri doğru yöntemlerden ve teknolojilerden faydalanılması durumunda mümkün olmaktadır.

Dördüncü neden ise verimliliktir. Fabrikalarda Endüstri 4.0 karanlıkta çalışan ve çok az enerji tüketen bir süreçtir. Bu sadece çevre kirliliğini ve enerji gereksinimlerini azaltmakla kalmamakta aynı zamanda maliyetleri de azaltmaktadır. Ayrıca yapay zekaya dayalı CPS sayesinde üretim sürecindeki kesintiler öngörülebilir ve olası üretim kayıpları önlenir. Üretim sürecini ve optimizasyonu da sağlayan bu sistemler ile hızlı ve verimli bir üretim hattı kurmak mümkündür.

Beşinci ve son neden ise robotların iş gücünde kullanılması, birbirleriyle iletişim kurabilmesi ve neredeyse sıfır hatalı ürün üretebilmesidir. Bu durumda üretimde insan faktörü ortadan kalkarak maliyetler azaltıldığı gibi iş kazaları ve üretim hataları da önlenmiş olmaktadır. Ancak dijitalleşme ile kas çalışanları yerine beyin çalışanlarına olan ihtiyaç artmaktadır.

4. ENDÜSTRİ 4.0'IN TEMEL FARKLILIKLARI VE ÖZELLİKLERİ

Bu kısımda Endüstri 4.0'ın önceki sanayi devrimlerinden farklı olan yönleri ve Endüstri 4.0'ın temel özellikleri açıklanmıştır.

4.1. Endüstri 4.0'ın Önceki Devrimlerden Temel Farklılıkları

Birinci Sanayi Devrimi'nin gerçekleştiği dönem 18.-19. yy.'ın başlarını kapsamaktadır. Bu devrime yol açan endüstriyel yenilikler arasında demir üretimi teknolojileri, buhar motorları ve tekstil endüstrisi teknolojileri yer almaktadır. Birinci Sanayi Devrimi sürecinde, el emeğinin yerini mekanik kuvvet almıştır. Bu durum, endüstriyel ekipman kullanımını gerektirmiştir.

İkinci Sanayi Devrimi 19. yy.'ın sonları ile 20. yy.'ın başlarında gerçekleşmiştir. Bu dönemin başlıca yenilikleri yüksek kaliteli çelik, içten yanmalı motor, kara yolu ulaşımı, elektrik ve kimyasal üretimdir. Bu devrim sonucunda, konveyör kullanımı artmış ve ekipman kullanımı taşıma ile desteklenmiştir.

20. yy.'ın ikinci yarısı, yenilenebilir enerji kaynaklarının biriktirilmesine ve kullanılmasına izin veren teknolojilerin elektroniğin ve iş süreçlerinin ağ organizasyonunun neden olduğu Üçüncü Sanayi Devrimi dönemi olarak kabul edilmektedir. Otomasyona dayalı küresel üretim için, elektronik ekipman ve küresel altyapı gerekmektedir. Bu

durum, bilgisayar ve otomasyon ile desteklenmektedir. Ayrıca hava yolu taşımacılığı da bu dönemde gelişmiştir (Sarı, 2020: 27).

Tüm sanayi devrimlerinin, endüstrideki basit evrimsel değişiklikler değil, devrim olarak tanımlanmasına izin veren ortak özellikleri vardır. Önceki üç ve Dördüncü Sanayi Devrimi'nin özü ve temel parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir (Popkova, Ragulina ve Bogoviz, 2019: 24).

Tablo 1: Önceki Üç ve Dördüncü Sanayi Devriminin Özü ve Temel Parametreleri

Endüstri Devrimleri				
Parametreler	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü
Dönem	18. yy. ve 19. yy.	19. yy. sonları ve 20. yy. başları	20. yy. ikinci yarısı	21. yy.
Ardında yatan endüstriyel yenilikler	Dökme demir üretimi, buhar gücü kullanımı, tekstil sektörü, demir yolları	Çelik üretimi, içten yanmalı motor, kara yolu ulaşımı, elektrik ve kimya	Yenilenebilir enerji kaynakları, dijital teknolojiler	İnternet kullanımı, robotik
Teknolojik mod	Endüstriyel üretim	Konveyör sistemler	Dijital teknolojiler temelinde küresel üretim	Tam otomasyon
Yeni alt yapı gerekliliği	Endüstriyel ekipmanlar, demir yolları	Konveyör ekipmanlar ve elektrikli motorlar	Dijital ekipmanlar	Yüksek hızlı internet ve robotize ekipmanlar

Endüstri Devrimleri				
Parametreler	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü
Endüstride sistem dönüşümünün temeli	Endüstriyel üretim yapısı	Konveyör üretim yapısı	Dijital teknoloji	Tam otomasyon sistemler
Lojistikte etkili değişiklikler	Buhar taşımacılığı	Demir yolu taşımacılığı	Elektrik enerjisi üreten binalar, elektrikli, hibrit ve diğer ulaşım araçları	Dış iskelet, manipulatorler, robotronik
Ürünlerde etkili değişiklikler	Dökme demir ürünler	Çelik ürünler	Bilgisayar ürünleri	Yeni inşaat malzemeler

Dördüncü Sanayi Devrimi'ni diğerlerinden çok farklı kılan noktalara dikkat çekilmekle birlikte bu devrimi Üçüncü Sanayi Devrimi'nin bir uzantısı olarak kabul eden görüşler de bulunmaktadır. Endüstri 4.0 devriminin üç özelliği ile bu farklılık vurgulanmaktadır. Bu özellikler (Fırat ve Fırat, 2017: 213):

Hız: Dördüncü Sanayi Devrimi kendinden öncekilerin aksine doğrusal bir hızla değil üstel bir hızla ilerleyerek diğer devrimlerden önemli boyutta farklılaşmaktadır. Bu durum çok boyutlu küreselleşme olgusu ile yeni teknolojilerin üretilme ve yenilenme hızını artırmış ve üstün yetenekli teknolojileri çoğaltmıştır.

Genişlik ve Derinlik: Dijital teknolojiler üzerine inşa edilen bu devrimde hızlı teknolojik değişimlere ve donanımlara uyum sağlamak zorlaşmaktadır. Bu durum

bireylerde, toplumun diğer kesimlerinde ve iş dünyasında önemli paradigmalara sebep olmakta ve nesiller arası farklar giderek açılmaktadır.

Sistem Etkisi: Endüstri 4.0 devrimi, bütünleşik sistemlerin oluşumunu ve dönüşümünü kapsamaktadır. Tüm iletişim sistemlerinin internet üzerinden kurulmuş bir ağ sistemi üzerinden her şeyin her şey ile bağlantılı çalışabilmesini sağlamaktadır.

4.2. Endüstri 4.0'ın Temel Özellikleri

Endüstri 4.0 kavramı, işletmelerin var olan teknolojik yeteneklerinin tam kullanılması için onlara farklı alanlarda tasarimsal önerilerde bulunmaktadır. Endüstri 4.0'ın temel özellikleri şöyle sıralanabilir (Soylu, 2018: 45- 46):

Birlikte Çalışabilirlik: İnsanlar ile akıllı fabrikaların iletişim kurmaları ve bağlanmaları CPS ile sağlanmaktadır. Bosch Rexroth Hamburg fabrikasındaki pilot proje buna örnek olarak verilebilir. Bu fabrikada traktör vb. tarım araçları için hidrolik valfler üretilmektedir. Gelecekteki üretim ortamına ilişkin bir fikir veren bu projede insanlar, makineler ve ürünler bütünleşik olarak çalışmaktadır.

Sanallaştırma: Akıllı fabrikanın sanal bir kopyasının oluşturulmasını ifade etmektedir. Sanal kopyalar, sensör verilerinin sanal modellemeler ve benzetim modellerinin bütünleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Siemens'in Almanya'daki Amberg fabrikası bu duruma örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu fabrikadaki üretim süreçleri ileri teknolojiler sayesinde kendini müşteri isteklerine göre hızla bir şekilde uyarlayacak duruma getirilmiştir.

Yerinden Yönetim: Kendi kararlarını verebilme özelliğine sahip olan CPS ve ürünlerin yerel olarak üretilmesini sağlayan 3D baskı gibi teknolojiler ile birçok işletme üretim merkezlerini düşük maliyetli alanlardan şirket merkezlerinin bulunduğu ülkelere taşımaya başlamıştır.

Gerçek Zamanlı Yetenek: Verileri toplama ve analiz etme yeteneği sonucunda elde edilen bilgilerin hemen sunulmasıdır. Örneğin enerji yönetimi alanında faaliyet gösteren Eaton, yüksek basınç hortumlarına, hortumun yıprandığını fark eden sensörler koyarak olası kazaların önüne geçebilmektedir. Ayrıca hortumların kilit bileşeni olduğu makinelerin yüksek âtıl kapasite maliyetinden tasarruf edilmesi sağlanmaktadır (Schwab, 2016: 151).

Platform Odaklı Hizmetler: CPS, insanlar ve akıllı fabrikaların servislerinin servis sağlayıcı platformlar üzerinden sunulmasıdır. İnsanlar ve akıllı cihazlar, müşterinin isteklerine göre ürünler üretmek için servis sağlayıcı platformlara verimli bir şekilde ulaşabilmelidir. Bu durumda üretimin, müşteri odaklı olması sağlanmış olacaktır.

Modülerlik: Akıllı fabrikaların değişen isteklere cevap verebilecek uyarlanabilir modüllere sahip olmasıdır. Böylece akıllı fabrikaların değişen isteklere esnek adaptasyonu sağlanmaktadır.

5. ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Bu kısımda Endüstri 4.0 uygulamalarının avantaj ve dezavantajları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Avantajları

Endüstri 4.0'ın avantajları arasında gelişmiş rekabet gücü ve performans, gelişmiş çok yönlülük ve esneklik ve artan kârlılık sayılabilir. Endüstri 4.0, tüketici hizmetini de artıracaktır. Endüstri 4.0 teknolojileri, üreticinin daha iyi ve verimli ürünler elde etmesini sağlar. Başka bir deyişle, bu, sermayeyi daha uygun maliyetli ve güvenilir hale getirirken daha fazla ve daha hızlı üretilebilirlik sağlamaktadır (Javaid ve öte., 2022: 204).

Endüstri 4.0'ın işletmelere sağlayacağı avantajlardan bazıları şunlardır (Avcı, 2021: 35):

- Maliyetlerin azaltılarak, karın artmasının sağlanması,
- Sistemde oluşabilecek muhtemel arızalara müdahaleyi kolaylaştırılması ve önleyici bakım ve tamir sistemlerinin akıllı makinelerle otomasyonu,
- Yeni iş modellerinin geliştirilmesi sonucunda oluşacak yeni iş alanlarına istihdam olanağının yaratılması,
- Üretim sürecinde esnekliğin daha fazla olması,
- Kaynak ve enerji kullanımının azalması sonucu sürdürülebilir bir kalkınmanın olanaklı olması,

- İşçi gücüne dayalı teknoloji kontrolünden, otomatik ve önleyici makine kontrolüne geçiş sonucu fire ve diğer zaman kayıplarının en aza indirilmesi,
- Akıllı makinelerin üretimde kullanılmasıyla birlikte iş gücüne olan ihtiyacın azalması,
- Üretimin daha verimli ve hızlı hale gelecek olması,
- Otonom Robotlar sistem tarafından kolay bir şekilde kontrol edilebilecek ve yönetilebilecektir. Otonom Robotların kullanımı ile fabrikaların küçülmesi, üretimin daha düşük enerji tüketimiyle gerçekleşecek olması,
- Üretim sistemlerinin anlık olarak izlenmesi ve kontrol edilebilme olanağı,
- Üretim sistemlerinde verimlilik artırıcı modüller değişikliklere uyum sağlayabilecek koşulları yaratması,
- Geçiş maliyetlerinin yüksek olması dışında üretim sürecindeki maliyetlerde önemli derecede düşüş yaşanması,
- Sistemin devamlılığının ve sürdürülebilirliğinin yüksek olması,
- Yeni hizmet ve üretim modellerinin desteklenmesine elverişli bir yapı sunmasıdır.

Sonuç olarak Endüstri 4.0'ın avantaja dönüştürülebilecek potansiyelleri; müşteri ihtiyaçlarına cevap verme, esneklik sağlama, yeni hizmetlerle değer yaratma, karar almada optimizasyon, verimli kaynak kullanımı ve etkinlik sağlama, iş yerinde demografik değişime cevap verme ve iş yaşam dengesini sağlama olarak özetlenebilir (Avcı, 2021: 35-36).

5.2. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Dezavantajları

Endüstri 4.0'ın işletmeler için dezavantajların bazıları şunlardır (Petekci, 2021: 13):

- Endüstri 4.0 teknolojik sistemlerini denetleyebilecek kişilere ihtiyaç duyulması, mavi yakalıların işten çıkarma olasılığının varlığı,
- İşletmeler için işten çıkarılanların yarattığı yasal durumların zorlayıcı olması,
- Nitelikli meslek gruplarına ilginin artması sonucunda mavi yakalıların teknolojik açıdan eksik olması ve bundan dolayı ayrımcılık ve dışlanmaya maruz kalması,
- Sosyal güvenlik kurumlarının robotlardan herhangi bir vergi talep edememesi sonucu zorlanması,
- İşverenin robotlara ücret ödememe gibi bir durumunun olması ile toplum içerisinde gelir dengesinin daha da artmasına yol açması,
- İşsizliğin artmasıyla birlikte devletin sırtına ekstra yük binmesi,
- Küçük ve orta ölçekli işletmelerin yeni teknolojileri satın alabilmesi için yeterli finansmana sahip olmaması,
- Ciddi düzeyde uzmanlık ve yüksek bir sermaye yatırımına ihtiyaç duymasından dolayı tekelleşmenin çok daha fazla ortaya çıkması,
- Karmaşık hale gelmeye başlayan üretim sistemlerine adapte olabilecek nitelikli eleman bulmakta zorluklar yaşanması,
- Bireyselleşmenin daha fazla önem kazanması,
- Üreticiler ile müşteriler arasında çatışmanın artması,

- Elde edilen büyük miktarda veriden kaliteli bilgilerin seçilme zorluğu,
- İşletmelerin güvenlik kaynaklarına yüksek finansman ayırması,
- Öngörülemeyen ve maliyetli robotik arızaların ortaya çıkması,
- İşe alımlarda insani yönün göz ardı edilmesidir.

Bu dezavantajlara rağmen teknolojik altyapısını geleceğin Sanayi Devrimi'ne göre uyumlaştırmayan, sistemini ve çalışanlarını organize etmeyen, projeler üretmeyen, zamana ayak uydurmayan, büyük dönüşümü gerçekleştirmeyen, Endüstri 4.0'ı hızlandırmada yeterli bilgi ve becerisi olmayan işletmeler bazı zorluklarla karşı karşıya kalacaktır ve rekabet üstünlüğünü kaybedecektir. Bu işletmeler:

- İş gücü talebinin azalması sonucu istihdam edilecek işgücünde fazlalık riskinin oluşması,
- Var olan teknolojilere uyum sağlanması sonucu Endüstri 4.0 teknolojilerine adapte olmada isteksiz olunması,
- Paydaşlar arasında risk üstlenmeme sonucu uyumsuzluklar yaşanması,
- Dönüşümün yüksek maliyetli oluşu ve
- Geriye dönüşümün olanaksız ve fazla maliyetli olması gibi zorluklar ile karşı karşıya kalacaklardır (Dombrowski ve Wagner, 2014: 102-103).

6. ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ

Endüstri 4.0'ın temel yapı taşlarının birçok farklı unsurdan oluştuğu görülmektedir. Bu temel yapı taşları; Büyük Veri, Otonom Robotlar, Simülasyon, Sistem Entegrasyonu, Nesnelerin İnterneti, Siber-Fiziksel Sistemler, Bulut Teknolojileri, Ekllemeli Üretim ve Artırılmış Gerçeklik olarak dokuz teknolojidir (Polivka ve Dvorakova, 2021: 653).

6.1. Büyük Veri

Büyük Veri, Endüstri 4.0'ın önemli unsurlarından biridir ve oldukça uzun süredir var olmasına rağmen son yıllarda önemi daha da artmıştır. Gartner 2001'de Büyük Veriyi basitçe “gelişmiş içgörü, karar verme ve süreç otomasyonu sağlayan, uygun maliyetli, yenilikçi bilgi işleme biçimleri talep eden yüksek hızlı, yüksek hacimli ve yüksek çeşitlilikteki bilgi varlıkları” olarak tanımlamıştır (Azeem ve öte., 2021: 339).

Bu yeni üretim teknolojisi, veri yoğundur ve ERP, CPS, IoT vb. gibi çeşitli tekniklerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Büyük Veri, toplanan verilerin kendi aralarında paylaşılmasını sağlayarak onları birbirine bağlar ve böylece üreticilere öngörü sağlar. Çeşitli süreç parametreleri, üretim operasyonlarında verim ve kârda arzu edilen sonuçları sağlar. Böylece, bu teknolojiler kullanılarak üretilen ürünler, geleneksel olanlardan daha üstündür ve müşterilerin değişken ve karmaşık taleplerini karşılayabilir (Azeem ve öte., 2021: 340).

Büyük Veri, web sunucularının internet istatistikleri, sosyal medya yayınları, bloglar, mikrobloglar, iklim algılayıcıları ve GSM operatörlerinden sağlanan arama kayıtları gibi çok sayıda bilginin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Üretimin kalitesinin artması, enerji tasarrufu sağlanması ve ekipman bakımının kolaylaşması Büyük Veri kullanımı ile gerçekleşmektedir. Ayrıca, kaynakları verimli kullanma ve ürün kalitesini istenen düzeyde sağlama potansiyeli çok önceden geliştirilmiş olacak; karar alma, risk yönetimi ve yenilik yapma olasılığı doğacaktır. Veri toplama ve analiz işlemleri, pek çok üretim sisteminin halihazırda vazgeçilmezidir. Verilerin toplanması ve toplanan verilerin analizi ile pek çok iyileştirme ve tahmin faaliyetleri olanaklı hale gelmektedir. İşletmelerin doğru stratejik karar almaları, risklerini iyi yönetmeleri ve yenilik yapmaları açısından Büyük Verinin doğru analiz metotları ile yorumlanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, işletmelerin maliyetlerini düşürecek, verimliliği artıracak ve müşterilere en doğru şekilde ulaşmayı sağlayacak Büyük Veri analizi yapmaları gerekmektedir (Avcı, 2021: 21-22).

İşletmeler müşterileri ve çalışanları için değer yaratmayı günden güne daha fazla miktarda veri toplayarak ve bu verileri kullanarak sağlamaktadır. Büyük Veriyi faydaya dönüştürebilen firmalara en iyi örnek Google, IBM, Oracle, Microsoft, Cloudera, SAS Institute ve Teradata'dır. İşletmelere önemli derecede değer katan Büyük Veri finansman perakendeciliğe, sağlıktan turizme kadar pek çok alanda uygulama alanı bulmuştur. Yöneticiler Büyük Veri sayesinde işletmeleri ile ilgili tam bilgi sahibi olabilecek ve bu bilgiyi ölçebilecek, karar verirken ve performans artırırken kullanabileceklerdir. Ayrıca işletmeler için Büyük Veri

yeni bir inovasyon ve ekonomik değer kaynağı olacaktır (Abubakar, Bozkurt ve Kalkan, 2022: 90).

Büyük Verinin işletmelere sağlayacağı avantajlardan bazıları şunlardır (Morabito, 2015: 13-14):

- Karar alma sistemini, daha düşük maliyetle ve daha kaliteli analiz yapılmasını sağlayarak güçlendirilmesi,
- İşletme performansını işletme içi bilgi kaynaklarını daha şeffaf hale getirerek artırması,
- İşletme içi iş birliğini artıran bir iş zekâsı geliştirilmesi,
- Betimsel ve ileri seviye analizlerle değer yaratan durumları test etme ve oluşturmadır.

Bunların yanı sıra, Büyük Veri işletmelerde müşteri davranışlarının analizi, iş süreçlerinin optimizasyonu, etkin işletme stratejisinin belirlenmesi, karar destek sistemlerinin geliştirilmesi, yeni iş modeli geliştirerek yeni iş alanlarının oluşturulması gibi imkanlar da sağlamaktadır. Ayrıca işletme yapılarını yeniden tasarlayarak yeni departmanların oluşması ve veri analizi yapan iş gruplarının değer kazanması gibi faydalar da sağlamaktadır (Çiğdem ve Seyrek, 2015: 7).

6.2. Otonom (İşbirlikçi) Robotlar

Robotik alanındaki gelişmeler, insanlarla iş birliği yapabilen otonom yapay zekâ sistemleri olarak tanımlanan “akıllı robotların” ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu robotlar, performanslarını ve yeteneklerini geliştirmek için çalışma ortamlarından, deneyimlerinden ve insan makine etkileşimindeki geri bildirimlerinden öğrenme yeteneğine

sahiptirler. Otonom Robotlar, algılayan, düşünen ve hareket eden, böylece sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen bilgileri işleyebilen, programlanmış veya öğrenilmiş bir dahili kurallar dizisi gibi, makinenin çalışmasını sağlayan mühendislik ürünü bir makine olarak tanımlanmaktadır (Westerlund, 2020: 35).

Otonom Robotlar, minimum insan katılımıyla atanmış görevleri yerine getirebilen akıllı makinelerdir (Suleiman ve öte., 2022: 5). Örneğin mal kabul, istifleme ve sevkiyat gibi bazı işler geçmişte otonom olmayan robotlar ile yapılmaktaydı. Ancak günümüzde depolarda birleştirme, ayırıştırma veya yarı mamulü nihai tüketim ürünü haline getirme gibi daha geniş ve katma değer yaratan faaliyetler yürütülmektedir. Bu durum da otonom robotlara olan ihtiyacı artırmaktadır (Mercan, 2022: 298). Robotlar, insanlardan daha ucuz, doğru ve güvenilir bir biçimde iş yaptıkları için tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra insan sağlığı açısından uygun olmayan, tehlikeli veya tekrarlı işlerde görevlendirilmektedir. Robotlar günümüzde imalat, montaj, paketleme, nakliye, tüketici ve endüstriyel malların seri üretimi, yer ve uzay araştırmaları, tıp, silah geliştirme ve laboratuvar araştırmalarında kullanılmaktadır (Banger, 2017: 72).

Endüstri 4.0'ın önemli bir parçası olan akıllı fabrikaların oluşturulmasının en temel prensiplerinden biri olarak karşımıza çıkan insan-robot iş birliği konusunda önemli gelişmeler olmaktadır. IoT teknolojisi ile bütünleştirilmiş geniş bir çeşitliliğe sahip robotlar insanların yaşamını kolaylaştırmak ve iyileştirmek için geliştirilmektedir. Günümüzde pek çok yeni uygulamada insan robot iş birliğinde insan ve makine birlikte el ele çalışmaktadır ve insanlar

makineler tarafından kolayca taklit edilemeyecek yeteneklere sahiptir. Robotlar bilek gücüne dayanan ve bedenen yorucu işleri yaparken, insanlar üretim sürecini kontrol ve takip işlerini yapmaktadır. Böylece her ikisi de kendi özel becerilerini desteklemektedir (Fırat ve Fırat, 2017: 213-214).

Robotlar akıllandıkça otomasyon yaygınlaşacaktır. Üretimde esnekliğin sağlanması ve akıllı üretime geçiş Otonom Robotlar geliştikçe hızlanacaktır. İnsan kaynaklı hataların büyük oranda azalması, oluşabilecek olumsuz durumlar akıllı robotların yaygınlaşması ile ortadan kalkacaktır. Son yıllarda üretimde robot kollar birçok ihtiyacı karşılamakta ve endüstriyel robot teknolojisi sayesinde istenilen hız, doğruluk ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Akıllı üretim ile endüstriyel robot kullanımının artırılması, esnek çalışma ortamına robotların uyum sağlaması, robot kullanımının kolaylaştırılması ve robotların büyüklüklerinin daha basit endüstriyel gereksinimleri karşılayacak şekilde küçülmesi, türlerinin artırılması ve fiyatlarının azalması hızlandırılacaktır (Özsoylu, 2020: 24).

6.3. Simülasyon

Simülasyon, gerçek sistemin zaman içerisindeki davranışını, çok kısa bir sürede taklit eden yani gerçeğin belirli bir kısmının görüntüsünü gösteren bir süreçtir. Son zamanlarda kullanılan en güçlü sistem analiz yöntemlerinden biri olarak gün geçtikçe kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Daha genel olarak Simülasyon, bir işletme veya ekonomik sistemin ya da bunlara ait alt yapıların uzun periyotta davranışlarını tanımlayan matematiksel veya

mantıksal modellere bağlı olarak test edilen nicel bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Aslan ve Özdemir, 2021: 968).

Simölasyon, geręek dünyadaki fiziksel sistem verilerinin sanal bir ortama aktarılmasıyla geręek sisteme ait özelliklerin takip edilebilmesi için altyapı sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simölasyonun amacı, olasılıkları sanal dünyada önceden izleyebilmek ve gerekli hazırlıkları planlayabilmektir. Bu durum süreçlerin izlenebilmesini sağladığı için zaman, maliyet ve risk yönetimi gibi faydalar sağlamaktadır. Dijital ortamda fiziksel dünyanın tüm verilerinin modellenenebilmesi Simölasyonun başarılı olmasını sağlamaktadır. Karşılaşılabilecek olası durumlara hazırlanan planlar sayesinde gerekli tepkilerin verilebilmesine olanak tanıdığı için günümüzde üretimden işletmeciliğe, sağlıktan eğitime kadar her alanda kullanım alanı bulan bir analiz yöntemi haline gelmiştir (Çelen, 2017: 10).

Simölasyon araçları, üretim süreçlerinin optimizasyonu ve kaynakların maksimum düzeyde kullanılması için kullanılır. Simölasyon, deterministik ve stokastik süreçleri modellemek ve karar vermeyi desteklemek için etkili bir yöntemdir (Benotmane, Kovács ve Dudás, 2019: 5)

Sürdürülebilir bir üretimi teşvik etmek amacıyla üretim yaşam döngüsünün tüm adımlarında üretimle ilgili faaliyetleri stratejik olarak destekleyebilecek Simölasyon araçları ve yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yenilikçi dijital araçların kullanımı, yeni ürünlerin piyasaya sürme süresini ve uygulama maliyetini azaltır. Gelecekteki pazar talepleri ve oldukça rekabetçi bir iş ortamı bu tür araçlara olan ihtiyacı artırmaktadır. Simölasyonlar, karmaşık sistemler hakkında bilgi sağlayarak,

gerçek sistemi bozmadan bilgi toplayarak ve uygulanabilir veya yeniden mühendislik süreçlerini çalışma zamanında planlayarak veya test ederek tesis operatörünü kısa vadeli ayarlamalarda destekleyebilmektedir. Gelecekteki fabrika ortamı, üretimin merkezden uzaklaştırılmasına ve modülerleştirilmesine yönelik artan eğilime rağmen her zaman dijital olarak öngörülebilir, analiz edilebilir ve simüle edilebilir olmalıdır (Weyer, Meyer vd., 2016: 98).

Simülasyon teknolojileri, mühendislik ve karar verme süreçlerinde iyi açıklanmış ve kabul görmüş tedbirlerdir. Geleneksel olarak Simülasyon teknolojileri temelde tasarım ve mühendislik evrelerine odaklanırken, gelecekteki multidisipliner Simülasyon, kısa vadeli kararlar ve fiili üretim aşamalarında da giderek daha belirleyici bir rol üstlenecektir (Weyer, Meyer vd., 2016: 97).

Özetle Simülasyon, akıllı fabrikanın üretim süreçlerinin problemlerden kaçınmak ve daha esnek ve daha verimli üretim elde etmek için modellenmesini ve görselleştirilmesini sağlayan, Endüstri 4.0'ın etkin bir aracıdır (Benotsmane, Kovács ve Dudás, 2019: 11). Akıllı fabrikada 3D Simülasyon, karmaşık sistemlerin, süreçlerin ve üretim görevlerinin performansını tahmin etmek, değerlendirmek ve doğrulamak için gerçek süreç işleyişinin veya sistem davranışının zaman içinde modellenmesini ve görselleştirilmesini tanımlar. Bilgi işlem gücünün katlanarak büyümesi sayesinde, sistemlerin tasarımını ve işletimini optimize etmek için endüstriyel Simülasyon araçları yaygın olarak kullanılmaktadır. Simülasyon aracının geleceğin endüstrisindeki temel noktası, üretim hatlarının tam yapısal ve dinamik temsili sayesinde akıllı fabrikanın temel kavramlarını gerçeğe dönüştürme yeteneğidir. Bu, üretim

birimlerinin optimal davranışını ve kontrolünü bulmayı ve doğrudan ve dolaylı işgücünü optimize etme gibi maliyet düşürme fırsatlarını belirlemeyi mümkün kılmaktadır (Xu ve öte., 2016: 310).

6.4. Sistem Entegrasyonu

Sistem Entegrasyonu, üretim süreçlerinde teorik olarak daha yüksek operasyonel verimlilik, esneklik ve daha kapsamlı otomasyon sağlayan bağlantılı ağları ve hizmetleri kapsamaktadır. Bu ağ işleri yatay ve dikey entegrasyon yoluyla oluşturmaktadır (Jaskó ve öte., 2020: 4).

Yatay ve dikey entegrasyon iş modeli içinde süreçler, müşteriler, tedarikçiler ve kaynakları yoğun bir şekilde etkilemektedir. Entegrasyon veri ve bilginin paylaşılması yoluyla işlerlik kazanmakta, sistemi her aşamada katma değer yaratma konusunda daha işlevsel ve yetenekli kılmaktadır (Sarı, 2020: 51).

Yatay entegrasyon, hammadde tedarikinden tasarıma, üretimden sevkiyata tüm evreleri kapsamakta, birbiri ile entegre sistemler kurmaktadır. Bu entegrasyon; üretim ve planlama sürecinde oluşan her evrenin kendi içinde ve diğer işletmelerin üretim ve planlama süreçlerindeki evreler arasında sürekli bir akışı kapsamaktadır (Soylu, 2018: 48). Yatay entegrasyon sayesinde, üretim katındaki tüm iletişim birimleri, birbirleriyle iletişim kurabilen ve üretim süreci hakkında önemli verileri paylaşabilen, iyi tanımlanmış özelliklere sahip nesneler haline gelmektedirler. Bu paylaşılan bilgiler sayesinde dinamik üretim gereksinimlerine otonom olarak yanıt verebilirler. Entegrasyon sürecinin sonunda, beklenmedik olayların oluşumunu azaltırken

uygun maliyetli ürünler üretebilen akıllı bir üretim katı ortaya çıkmaktadır (Jaskó ve öte., 2020: 4).

Dikey entegrasyon ise sistem içindeki teknolojik altyapıda aralıksız bir iletişim ağı sağlamaktır. Örneğin üretimde kullanılan sensörler, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama yazılımları, motorlar, kumanda panelleri ve iş zekâsı uygulamaları gibi farklı üniteler bu kapsamda değerlendirilmektedir (Soylu, 2018: 48). Dikey entegrasyon, üretim departmanından başlayarak bir işletme içindeki tüm departmanların sisteme entegre edilmesi olarak da ifade edilebilir. Bu tür bir entegrasyon, stratejik ve taktiksel kararlar alınmasına yardımcı olur, çünkü ilgili veriler şeffaf ve serbestçe yukarı ve aşağı akabilir. Bu tür bir entegrasyonun ana avantajı, şirketin tepki süresinin önemli ölçüde azaltılabilmesidir. Bu da pazarda rekabet avantajına dönüşmektedir (Jaskó ve öte., 2020: 4).

Dikey ve yatay entegrasyon, üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek muhtemel değişikliklere ve sorunlara hızlı şekilde ayak uydurulması, üretimin kişiselleştirilmesi, kaynakların optimize edilmesini sağlayarak verimliliğinin artırılması ve küresel tedarik zincirinde optimizasyon elde edilmesi gibi faydalar sağlamaktadır. Ayrıca işletmelerin çevik bir örgüt yapısına ulaşması muhtemel olmakta ve ihtiyaç olan değişikliklere hızlı şekilde cevap verilebilmektedir (Asar ve Esen, 2021: 461).

6.5. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), farklı cihazların, akıllı bir şebeke oluşturup birbirleriyle veri paylaşarak etkileşim kurması ve haberleşmesi ile oluşan bir

teknolojidir. IoT, eşsiz bir şekilde adreslenebilir nesnelerin kendi içlerinde oluşturduğu, dünya çapında yaygın bir şebeke ve bu şebekedeki nesnelerin bir protokol çerçevesinde birbirleriyle iletişim kurmalarıdır (Taşlıyan ve Yılmaz, 2022: 252). Bir başka tanımda ise IoT, bir yazılım çerçevesinde, fiziksel cihaz ve makine gibi birçok nesnenin, birbiri ile etkileşim kurmak için oluşturdukları bir şebeke'dir (Lee ve Lee, 2015:431).

IoT var olan teknolojilerin temeli üzerine geliştirilmiştir. Radyo Frekansıyla Kimlik Tanımlama (RFID-Radio Frequency Identification) etiketleri, Büyük Veri analitiği, internet adreslerinin yeni gelişen cihazlara bağlanmasını sağlayan IPv6 gibi teknolojiler bu teknolojilere örnek olarak gösterilebilir. IoT teknolojisinin kablosuz iletişim zorunluluğu yoktur fakat mobil uygulama üzerinden veya doğrudan bulut servisine veya internete bağlanmak için genellikle kablosuz iletişim teknolojisini kullanmaktadır. Wi-Fi, ZigBee veya Z-Wave, mobil cep telefonu ağları, Bluetooth vb. diğer kablosuz ağ iletişim protokolleri en çok kullanılan teknolojilerdir (Laudon ve Traver, 2018: 152).

IoT günümüzde pek çok alanda hayata geçirilmiştir. En fazla ön plana çıkan sektörler lojistik, imalat sanayi, araç trafiği, akıllı binalar ve enerji sektörleridir. Tüm sektörlerin etkilenmesinin yanı sıra finansal sistemler, imalat, sağlık, biyoteknoloji, enerji, doğal kaynaklar, inşaat ve gayrimenkul sektörünün daha çabuk uyum sağlayacağı ve ön plana çıkacağı tahmin edilmektedir (Özsoylu, 2020: 18).

IoT yatırım maliyetlerini önemli ölçüde düşürerek işletmecilik faaliyetlerini hızlandırmaktadır. IoT ile verimlilik ölçütlerine dayandırılarak oluşturulmuş iş modeli ile sanal ortamda değer yaratmak çok kısa bir zamanda

sağlanabilmektedir. İşletmeler IoT sayesinde büyüme stratejilerini daha doğru ve sonuç odaklı yapabileceklerdir. IoT sayesinde kişiselleştirilmiş ürün, akıllı fiyat uygulamaları ve anlık müşteri analizi ile işletmeler en doğru fiyatlandırma stratejisini belirleyebilecek ve daha ölçeklenebilir ve gerçekçi fiyatları müşterilerine sunacaklardır. IoT ile tedarik zinciri yönetiminde, depolama ve taşımacılık fonksiyonları hızlı, güvenilir ve kolay yapılabilir hale gelecek ve akıllı dağıtım kanalları kurulacaktır.

IoT ile ürün kendi hafızasını bilgi ve veri açısından taşıyor durumda olduğundan ürün yaşam döngüsü izlenebilir hale gelmektedir. Bu durum problemlerin önceden teşhis edilmesini sağladığından verimlilik artmakta ve katma değer yükselmektedir. İşletmelerin girdilerini optimize etmeleri çevresel faktörler açısından önem taşımaktadır. IoT ile herhangi bir ürünün yaşam döngüsü sona erdiğinde, atıklar azaltılarak doğaya verilen zarar önlenmiş olacağından optimizasyon sağlanacaktır. Sonuç olarak bu teknoloji, işletmelerin yanı sıra, değer zincirinde yer alan bütün paydaşların süreçlerini geliştirmekte, yeni iş yapma modellerini ortaya çıkarmakta ve daha kaliteli ürünlerin pazarlara daha hızlı ulaştırılmasını muhtemel hale getirmektedir (Tiftik ve Doyduk, 2017: 139-144).

6.6. Siber Fiziksel Sistemler

Siber Fiziksel Sistemler (Cyber Physical Systems-CPS), algılama, hesaplama, kontrol ve ağ oluşturmayı internet üzerinden fiziksel süreçlere ve nesnelere entegre eden karmaşık bir sistemdir. Fiziksel ve siber dünyaları birbirine bağladığı için modern endüstride önemli bir rol

oynamaktadır. Gerçek zamanlı veri işleme hizmetleri sunarak fiziksel ve sanal dünyaları entegre edebildiği için önemli bir rol oynayan Endüstri 4.0'ın tipik bir ürünüdür. Daha spesifik olarak, fiziksel bir sistemin monitör olarak sanal bir sistemle donatılmasına izin vererek, fiziksel dünyadan toplanan verilerin sanal dünyada analiz edilmesini ve böylece fiziksel dünyanın gidişatını etkileyecek kararlar alınabilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, bilgilerin entegrasyonunu, paylaşımını ve iş birliğini, ayrıca sistemlerin gerçek zamanlı izlenmesini ve küresel optimizasyonunu sağlamaktadır. Modern endüstride CPS'e dayalı akıllı şebekeler, sağlık hizmetleri, uçak, dijital üretim ve robotik gibi çeşitli uygulamalar vardır (Duo, Zhou ve Abusorrah, 2022: 784).

CPS, girdilerin bilgisayar tarafından öğrenilerek yapay zekâ ve makine öğrenmesi ile en yüksek verimliliğe ulaştırıldığı, bilgisayar yazılımları tarafından kontrol edilen fiziksel bir ortam barındıran sistemler olarak görülmektedir. Günümüzde akıllı üretim sistemleri şeklinde tanımladığımız sistemlerin birçoğu, CPS'nin de ayırt edici özelliği olan aynı süreci tekil ve sürekli olarak sürdürme temeline dayanmaktadır (Ateş, Bostancı ve Güzel, 2020: 33).

Ortaya konan yeni CPS ile üretimde kullanılan ekipmanların karşılıklı ve çalışanlarla da iletişim kurarak üretim sürecini ıslah etmesi hedeflenmektedir. Bu noktadan hareketle, bilgi işlem hızı bilgisayarlarda insanlardan daha yüksek olduğu için üretimi sürdüren ürün ve ekipmanların birbirleri ile iletişim kurmasını sağlamak amaçlanmaktadır (Liu ve öte., 2017: 27).

CPS, Endüstri 4.0'ın temel vizyonu olan akıllı fabrika yaklaşımının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. CPS'nin

iki boyutu vardır. Bu boyutlardan birincisi; büyük fiziksel sistem olan akıllı ve birbiri ile iletişim kurabilen makinelerin oluşturdukları bağlantılardır. İkincisi ise Simülasyon yani sistemin bilgisayar ortamındaki sanal kopyasıdır. Fiziksel sistem mevcut fiziksel ortamda çalışmasına devam ederken, sürecin bir sanal kopyası da bilişim ortamında oluşturulmaktadır. Bu durum sanal sistemin izlenerek, denetlenerek ve gerek duyulduğunda yönetilerek mevcut sistemde ne olup bittiğine hâkim olma potansiyelini yaratmış olmaktadır (Monostori, 2015: 766).

CPS'in en önemli yönü insan yetenekleriyle gerçekleştirilmesi mümkün olmayan işlerin kısa sürede gerçekleştirilmesidir. Bu sistemler, ağ bağlantılı oldukları için verilere hızlıca ulaşabilmekte ve topladığı verileri işleyerek üretim sürecine katabilmektedir. Ayrıca dışsal koşullara uyum sağlama yeteneği en ayırt edici özelliklerinden biridir (Özsoylu, 2020: 23).

Bu sistemler, algoritmalar geliştirerek üretim sistemlerinin elemanları için rutin ve standartlaştırılmış davranışlar üretilmesine ve gerçek üretim süreçlerinde karşılaşılan birçok problemin çözülmesine yardımcı olabilirler. Bunun doğal bir sonucu olarak, üretim süreçlerinde insan kaynağı kullanımının azaltılmasına bağlı olarak insan hataları da azalmakta ve üretim süreçleri daha hızlı, etkin ve verimli hale gelmektedir (Görçün ve Küçükönder, 2022: 2).

6.7. Bulut Bilişim

2009 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından Bulut Bilişimin genel olarak kabul edilen bir tanımı geliştirildi ve bu

tanım, Bilişim teknolojileri çözümlerini bir hizmet olarak sunan bir teknoloji sunumu paradigması olarak kavramsallaştırıldı. O zamandan beri, Bulut Bilişim hizmetleri birçok kuruluşun ticari faaliyetlerinin bel kemiği olarak ortaya çıkmıştır. Kullanılabilirlik, güvenilirlik, maliyet, ölçeklenebilirlik ve güvenlik gibi boyutlar, Bulut Bilişim araştırmalarında kullanılan önemli ölçütlerdir (Saratcandra ve Shrestha, 2022: 3).

Bulut Bilişim, bilgisayar ağları, sunucular, veri tabanları, uygulamalar, hizmetler gibi farklı yapılandırılabilir bilişim kaynaklarının yer aldığı bir havuza, elverişli koşullarda ve isteğe bağlı olarak ulaşma imkân veren bir yapıdır (BTK, 2013: 3).

Özel bulut, topluluk bulutu, genel bulut ve hibrit bulut olmak üzere dört dağıtım modeli vardır. Özel bulutta birden fazla tüketici bulunmakta ve bulut alt yapısı tek bir kuruluş için sağlanmaktadır. Topluluk bulutunda ise belirli bir tüketici topluluğu bulunmakta ve özel kullanım için bulut alt yapısı ortak hedefleri olan kuruluşlardan sağlanmaktadır. Genel bulut, bulut sağlayıcısının tesislerinde bulunmakta ve bulut alt yapısı genel topluluğun kullanımı için sağlanmaktadır. Hibrit bulut ise iki veya daha fazla farklı bulut altyapısının (özel, topluluk veya genel) bir bileşiminden oluşmaktadır (Mell ve Grance, 2011: 3).

Bulut Bilişim sistemi ile yeni bir döneme girildiği, bu sistemin bilişim dünyasında çok önemli açılımlara yol açacağı bilinmektedir. Halen cep telefonları aracılığı ile yapılan internet işlemlerinin tamamı Bulut Bilişim sayesinde. Muhtemelen ileride Bulut Bilişimin başlangıç aşamalarındaki döneme örnek olarak gösterilecek bu uygulamalar bile, günlük yaşamı kolaylaştırmaktadır. Bu kolaylıklar

henüz başlangıçtır ve daha birçok avantaj sunulmaktadır. Bulut Bilişim, kuruluşlara ölçeklenebilirlik, hızlı esneklik, ölçülebilir hizmetler ve en önemlisi maliyet tasarrufu gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. En temel Bulut Bilişim terimi, faydalı modellere ve esnekliğe kaynak tahsisi ekleyerek, bilgi ve uygulama kaynaklarını temel altyapıdan ve onu sunmak için kullanılan mekanizmadan ayırarak bilgi işlemde mevcut birçok teknolojinin ve yaklaşımın evrimini tanımlar. Bulut Bilişim, tüketiciler ve şirketler için para tasarrufu sağlarken iş birliğini, ölçeği, kullanılabilirliği ve çevikliği geliştirir. Başka bir deyişle Bulut Bilişim, bir dizi uygulamanın, bilgi ve altyapının, ağ, depolama ve bilgi kaynaklarının ve dağıtılmış hizmetlerin kullanımını içerir (Vinoth ve öte., 2022: 2173).

Bulut Bilişim sistemi iş yapılarına, işte oluşabilecek büyüme küçülme durumlarına göre değişiklik göstereceğinden, kullanıcılara esneklik kazandıracak, donanım, yazılım, güç kaynağı, soğutma sistemi gibi birçok maliyet küçük bir kira karşılığı ortadan kalkacak ve maliyetler ciddi anlamda azalacaktır. Hizmet sağlayıcı kurumlar teknolojiyi sürekli takip etmek zorunda olacaklarından sürdürülebilirlik bir başka avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde veri depolama kapasite sınırları ortadan kalkmakta, yazılımlar kolayca erişilip, kurulup kaldırıldığından yönetim kolaylığı da bulunmaktadır (Özsoylu, 2020: 16).

Bulut Bilişimin e-öğrenme, sağlık ve e-ticaret dahil olmak üzere birçok alanda etkisi vardır. Ekonomik değeri yüksek, kaliteli, düşük maliyetli internet hizmetleri sunmaktadır. Bu teknolojinin internet ve iş dünyasındaki bir sonraki devrim olacağı düşünülmektedir. Birçok e-ticaret

işletmesi, katma değeri en üst düzeye çıkarmak için Bulut Bilişime geçmektedir (Vinoth ve öte., 2022: 2172).

Endüstri 4.0 açısından Bulut Bilişim son derece önemlidir. Zira Büyük Veri yığınlarının ve analiz yazılımlarının bulut üzerinde tutulması ve analiz programları aracılığıyla işlenmesi Bulut Bilişim üzerinde gerçekleşmektedir (Banger, 2017: 43).

6.8. Eklemeli Üretim

Uluslararası rekabetteki sürekli artış, küreselleşme ve endüstriyel olarak üretilen ürünlerin karmaşıklığı nedeniyle, geleneksel üretim tekniklerinin karşılayamadığı daha esnek ve verimli süreçlere yönelik bir talep görülmektedir. Eklemeli üretim teknolojisi olarak tanınan katmanlı üretim veya 3D yazıcı teknolojisi, artık bu zorluklara karşı koymak için olası yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmektedir (Tiwarı, Arunkumar ve Malik, 2021: 808).

Eklemeli üretim, parçaların kesitlerinin teker teker, katmanlı olarak üretilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem var olan malzemenin biçimlendirilmesi ya da ek-siltilmesi prensibi ile çalışmakta ve bu yönüyle geleneksel üretim yöntemlerinden ayrılmaktadır. Başlangıçta yalnızca prototip üretimi için, görsel amaçlarla üretim yapılmaktaydı fakat daha az malzeme israfı olması, herhangi bir geometrik kısıtlama ile karşılaşılması gibi olumlu sonuçlarından dolayı, son yıllarda geleneksel üretim yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmektedir (Grim, 2004:108).

Bu üretim yöntemi çeşitli malzemelerin plastik ve sıvı bileşenlerle birleşerek imalat süreci ile

bütünleştirilmesidir. Bütünleştirilen bu bileşenler çok ince tabakalar ile bütünleşip eklenen noktaların görünmesini engeller. İmalat sürecinde kullanılan malzeme teknolojileri bu yöntemin en önemli özelliğidir. Bu teknolojilerin temel amacı, malzemeleri farklı şekillerde birbirleri arasında ek-leme, yapıştırma, vb. işlevleri yerine getirmektir (Wong ve Hernandez, 2012: 1).

Malzeme tasarrufu, düşük maliyeti, kalıba ihtiyaç duymadan parça üretilebilmesi ve karmaşık şekilli parçalarda tasarım esnekliği gibi avantajları sayesinde başta medikal, havacılık ve otomotiv olmak üzere kullanıldığı alanlara yeni bir soluk getirmiştir. Eklemeli üretim yöntemi, malzeme israfını ve piyasaya çıkış süresini azaltarak parça maliyetini düşürmeyi vaat eden bir teknolojidir. Ayrıca ağırlıktan tasarruf sağlayan ve aynı zamanda karmaşık parça üretimini kolaylaştıran tasarım esnekliği ve seçeneğinde bir artış sağlayabilir (Karayel ve Bozkurt, 2020: 11424-11425).

Sonuç itibariyle eklemeli üretim sayesinde ürünlerin üretim süreçleri hızlanmaktadır. Bu da tasarımcı- üretici olan kişileri dahi tüketici konumuna getirmektedir. Tasarım kavramını da güçlendiren bu teknoloji, kullanıldığı her alanda katma değer de oluşturduğunu göstermektedir. Bu da doğal olarak yaratıcılığı önemli hale getirmektedir (Sürmen ve Güler, 2021: 333).

6.9. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış Gerçeklik (Augmented reality-AR) uygulamalarının kökeni 1960'ların sonlarında havacılıkta başa tatalan ekranların geliştirilmesine kadar uzanmaktadır.

Gelişen teknolojiler ve araştırmalarla birlikte ilk olarak askeri alanda uygulanan Artırılmış Gerçeklik yıllar geçtikçe endüstriyel ve tıbbi alanlarda uygulanmıştır. Ticaret ve eğlence alanlarında ise daha sonra uygulanmaya başlamıştır. Günümüzde bilgiye erişmek bilgisayar teknolojilerindeki derlemeler sayesinde ilerlerken aynı zamanda bu teknolojilerin uygulanacağı yeni alanları ortaya çıkarmaktadır. Proje süreçlerini geliştirmek, karmaşık bilgileri daha görsel hale getirebilmek ve bilgiyi daha kolay anlayabilmek gibi sağladığı avantajlar nedeniyle Artırılmış Gerçeklik savunma, seyahat, spor, havacılık, güvenlik, dijital oyun, eğitim, eğlence, mühendislik, pazarlama, otomotiv, turizm ve reklam alanlarında uygulama alanı bulmuştur (Gelmez ve Yılmaz, 2021: 168).

Artırılmış Gerçeklik; bilgisayarlar aracılığıyla üretilen verileri duygusal girdi ile artırıp canlandıran nesnelerin gerçek dünyada bütünleştirilmesiyle meydana getirilen yeni bir algı ortamının doğrudan doğruya ya da dolaylı bir görünümünü ifade etmektedir. Artırılmış Gerçeklik ile insan duygusunu faaliyete geçiren veriler bilgisayarlar aracılığıyla yapılandırılarak çoğaltılmaktadır. Daha sonra meydana gelen bu yeni gerçek kullanıcıların algılarına sunulmaktadır (Schwab, 2017: 84). Yani gerçek bir ortamın sanal nesneler ile çoğaltıldığı bir durum olarak tanımlanmıştır. Bu tanımın içerdiği boyutlar şunlardır (Chevalier ve Kiefer, 2020: 263):

- Sanal ve gerçek içeriği birleştirmek,
- Etkileşimi gerçek zamanlı sağlamak ve
- Sistemin üç boyutta kayıtlı olmasıdır.

Artırılmış Gerçeklik teknolojisi konum tabanlı ve resim tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Cheng ve Tsai, 2013: 449). Kullanıcının bulunduğu konumu esas alan Artırılmış Gerçeklik teknolojisi konum tabanlı teknolojidir ve kullanıcının bulunduğu konum GPS ve WLAN gibi teknolojiler kullanılarak belirlenmektedir. Daha sonra belirlenen bu konum görüntüsü, sanal verilerin üzerine eklenmesiyle zenginleştirilmektedir. Gerçek dünya görüntüsü üzerine sanal grafiklerin eklenmesi prensibi ile çalışan Artırılmış Gerçeklik teknolojisi ise resim tabanlı teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Sırakaya, 2016: 302).

Artırılmış Gerçeklik, fiziksel gerçekliğin sağladığı bağlamdaki avantajlar ile sanal sunumlar arasında bir denge kurar. Artırılmış Gerçekliğin tanımlayıcı özelliği, “aynı alanda sanal ve gerçek nesnelere bir arada sahip olma” yeteneğidir. Artırılmış Gerçeklik, bir kullanıcıların çevresinde bir mevcudiyet hissini sürdürür. Bu nedenle, artırılmış gerçekliğin sanal bileşenleri, fiziksel dünyayı geliştirmeyi veya sanallaştırma olmadan başka türlü oluşamayacak bileşenleri sağlamayı amaçlar (Steffen ve öte., 2019: 690).

Endüstri 4.0 kapsamında birçok işletme Artırılmış Gerçeklik teknolojisini çalışma koşullarını iyileştirmek ve karar verme süreçlerini hızlandırmak için kullanmaktadır. Artırılmış Gerçeklik teknolojisi kullanılarak oluşturulan sanal ortamda, kullanıcılar bir cihaz aracılığı ile makinelerle iletişim sağlayarak, makineleri kullanabilecek, ortam değerlerini kontrol edebilecek, montaj ve bakım işlemlerini izleyebileceklerdir. Bu doğrultuda geliştirilen Artırılmış Gerçeklik uygulamaları Endüstri 4.0 kapsamında önemli bir yere sahiptir. İşletmelerin çalışanları eğitmede

kullanılarak, öğrenmeyi kolaylaştırma, anlık eğitim ile zamandan tasarruf sağlama ve daha nitelikli çalışanlar yetiştirme gibi konularda fayda sağlayacaktır. Endüstriyel anlamda da bakım ve montaj eğitiminde kolaylık, üretimde kalitenin artırılması ve daha hızlı bakım ve montaj yapılmasını sağlayacaktır. Artırılmış Gerçeklik teknolojisi tamir, bakım ve montaj gibi alanlarda kullanışlı olması, verimi artırması ve maliyetleri düşürmesi gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır (Güler ve Yücedağ, 2018: 102).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Endüstri 4.0, üretim alanlarının makinelerle değiştirildiği ve firmaların yüksek oranda otomatikleştiği, eski çalışma şekillerinin değiştirildiği, üretim birimi ve makinele rin sensör, makine ve insan entegrasyonu yoluyla akıllı kararlar verebildiği akıllı firmalarla ilgilidir. Teknolojinin iş süreçlerine entegresinin hedeflendiği Endüstri 4.0, dijitalleşme çağı olarak da ifade edilmektedir. Dijital teknoloji devrimi nedeniyle üretim süresi, kaynakların verimli kullanımı ve üretim kalitesi iyileştirilmektedir. Dahası, tedarik zinciri süreçleri gerçek zamanlı verilerin, akıllı cihazların ve akıllı sistemin kullanılabilirliği yoluyla etkin bir şekilde planlanarak ve yönetilerek, sistemi esnek ve verimli hale getirebilmektedir. Tüm iş ve işlemleri önemli ölçüde etkileyen dijitalleşme, işletmelere rekabet avantajı sağlamaktadır. Bundan dolayı işletmelerin hızlı bir şekilde Endüstri 4.0 teknolojilerine uyum sağlamaları gerekmektedir. Bunun için ülkeler gerekli dijital dönüşüm programlarını oluşturmakta ve işletmelere dijital dönüşümün gerçekleşmesi için katkı sağlamaktadırlar.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin her sektörde kullanım düzeyi farklıdır. Buna bağlı olarak işletmelerin kullandığı teknolojiler ve bu teknolojilerin üretim sürecindeki önem düzeyleri farklılık göstermektedir. İşletmelerin küreselleşme çağında rekabet avantajını elde edebilmeleri için Endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmaları ve bu teknolojilerin öneminin farkında olmaları gerekmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve bu teknolojilerin alt unsurlarının belirlenmesi ve üretim ve yönetim süreçlerinde bu unsurların bir bütün olarak değerlendirilmesi önemli bir süreç olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abubakar, T. T., Bozkurt Ö. Ç. ve Kalkan, A. (2022). "Büyük Veri Kullanımının Türk İşletmelerinin Ürün ve Süreç İnovasyonu Üzerindeki Etkisi", *Doğu University Journal*, 23(1), 87-103.
- Asar, İ. ve Esen, Ş. (2021). "Endüstri 4.0 ve İşletme Yönetiminin Geleceğine Olası Etkileri: Kavramsal Bir Yaklaşım", *Generic Page*, 7(4), 459-468.
- Aslan, E. ve Özderir, N. (2021). "Bir Üniversite Öğrenci Yemekhanesinde Simülasyon Uygulaması", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 965-978.
- Ateş, E. C., Bostancı, E. ve Güzel, M. S. (2020). "Security Evaluation of Industry 4.0: Understanding Industry 4.0 on the Basis of Crime, Big Data, Internet Of Thing (IoT) and Cyber Physical Systems", *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, (International Security Congress Special Issue), 29-50.
- Avcı, N. (2021). "İnsan Kaynaklarından Yetenek Yönetimine Endüstri 4.0", Kriter Yayınevi, 3. Basım. İstanbul.
- Azeem, M., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Suman, R. ve Nandan, D. (2021). "Big Data Applications to Take Up Major Challenges Across Manufacturing Industries: A brief Review", *Materials Today: Proceedings*, 49(2), 339-348.
- Banger, G. (2017). "Endüstri 4.0 Ekstra", Dorlion Yayınları, Ankara.
- Benotmane, R., Kovács, G. ve Dudás, L. (2019). "Economic, Social Impacts and Operation of Smart Factories in Industry 4.0 Focusing on Simulation and Artificial Intelligence of Collaborating Robots", *Social Sciences*, 8(5), 143.
- BTK, (2013). <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/slug/bulut-bilisim.pdf>, (Erişim: 13.05.2022).
- Bulut, E. ve Akçacı, T. (2017). "Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi", *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55-77.
- Cheng, K. H. ve Tsai, C. C. (2013). "Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research", *Journal of Science Education and Technology*, 22, 449-462.

- Chevalier, C. ve Kiefer, C. (2020). "What Does Augmented Reality Mean as a Medium of Expression for Computational Artists?", *Leonardo*, 53(3), 263-267.
- Chung, S. ve Chung, J. (2021). "The Korean Approach to Industry 4.0: the 4th Industrial Revolution from Regional Perspectives", *European Planning Studies*, 29(9), 1690-1707.
- Crnjac, M., Veža, I. ve Banduka, N. (2017). "From Concept to the Introduction of Industry 4.0", *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(1), 21-30.
- Çelen, S. (2017). "Sanayi 4.0 ve Simülasyon", *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 9-26.
- Çeliktaş, M. S., Sonlu, G., Özgel, S. ve Atalay, Y. (2015). "Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası", *Endüstri ve Mühendislik Dergisi*, 54(662), 24-34.
- Çiğdem, Ş. ve Seyrek, İ. H. (2015). "İşletmelerde Büyük Veri Uygulamaları: Bir Literatür Taraması", *Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi*, 45-46.
- Doğan, O. ve Baloğlu, N. (2020). "Endüstri 4.0 Kavramsal Farkındalık Ölçeği", *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22(38), 58-81.
- Dombrowski, U. ve Wagner, T. (2014). "Mental Strain as Field of Action in the 4th Industrial Revolution", *Procedia Cirp*, 17, 100-105.
- Duo, W., Zhou, M. ve Abusorrah, A. (2022). "A Survey of Cyber Attacks on Cyber Physical Systems: Recent Advances and Challenges", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9(5), 784-800.
- Ermağan, İ. ve Erdoğan, S. (2020). "Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar içinde Dijital Dönüşüm Devrimi: Endüstri 4.0 ve (Endüstriyel) Yapay Zeka", Nobel Yayınevi.
- Fırat, O. Z. ve Fırat, S. Ü. (2017). "Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S. ve Ayala, N. F. (2019). "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies", *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Gelmez, E. ve Yılmaz, N. (2021). "Endüstri 4.0 Bakışıyla Üretim Yönetimi", Çizgi Kitabevi, İstanbul.

- Genç, S. (2018). "Turkey's Proceed on Industry 4.0", *Sosyoekonomi Journal*, 26(36), 235-243.
- Görçün, Ö. F. (2016). "Dördüncü Endüstri Devrimi Endüstri 4.0", Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Görçün, Ö. F. ve Küçükönder, H. (2022). "Evaluation of the Transitions Potential to Cyber-Physical Production System of Heavy Industries in Turkey with a Novel Decision-Making Approach Based on Bonferroni Function", *Verimlilik Dergisi*, 1-16.
- Grimm, T. (2004). "Guide to Rapid Prototyping", 1.Baskı, Society of Manufacturing Engineers.
- Güler, O. ve Yücedağ, İ. (2018). "Artırılmış Gerçeklik: Montaj ve Bakım Uygulamalarında El Tanıma Teknolojisi ile Etkileşim Çalışmaları", 20. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri (Karabük Üniversitesi), 100-104.
- Jaskó, S., Skrop, A., Holcinger, T., Chován, T. ve Abonyi, J. (2020). "Development of Manufacturing Execution Systems in Accordance with Industry 4.0 Requirements: A Review of Standard-and Ontology-Based Methodologies and Tools", *Computers in Industry*, 123, 103300.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R. ve Gonzalez, E. S. (2022). "Understanding the Adoption of Industry 4.0 Technologies in Improving Environmental Sustainability", *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203-217.
- Kagermann, H., ve Wahlster, W. (2022). "Ten years of Industrie 4.0", *Sci*, 4(3), 26, 1-10.
- Kagermann, H. Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0," Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Ed: Ariane Hellinger ve Veronika Stumpf, Acatech-National Academy of Science and Engineering, April, 13-78.
- Karayel, E. ve Bozkurt, Y. (2020). "Additive Manufacturing Method and Different Welding Applications", *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 11424-11438.
- Kwon, S., Lee, J. ve Lee, S. (2017). "International Trends in Technological Progress: Evidence from Patent Citations, 1980–2011", *The Economic Journal*, 127(605), 50-70.
- Laudon, K. C. ve Traver, C. G. (2018). "E-commerce", Pearson, 13. Baskı, England.

- Lee, I. ve Lee, K. (2015). "The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises", *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Liu, Y., Peng, Y., Wang, B., Yao, S. ve Liu, Z. (2017). "Review on Cyber-Physical Systems", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 4(1), 27-40.
- McNeese, T. (2000). "*The Age of Progress*", Lorenz Educational Press.
- Mell, P. ve Grance, T. (2011). "The NIST Definition of Cloud Computing", *Recommendations of the National Institute of Standards and Technology; National Institute of Standards and Technology Laboratory*, 145.
- Mercan, Y. "Endüstri 4.0'ın Sürdürülebilir Üretimdeki Rolü", *Tedarik Zinciri Yönetiminde Sürdürülebilirlik ve Teknoloji*, Ed.: O. Çetin, Çanakkale, Paradigma Akademisi, (2022), 129-158.
- Mercan, Y. "Endüstri 4.0'ın Depolama Fonksiyonu Üzerindeki Etkileri", *İşletme Bilişiminde Güncel Konulara Bütünsel Bakış: Teori, Uygulama ve Yaklaşımlar*, Ed.: A. R. Sönmez ve T. Ala, Ankara, Orion Akademisi, (2022), 283-305.
- Monostori, L. (2015). "Cyber-Physical Production Systems: Roots From Manufacturing Science And Technology". *At-Automatisierungstechnik*, 63(10), 766-776.
- Morabito, V. (2015). "*Big Data and Analytics: Strategic and Organizational Impacts*", Springer.
- Özkan, M., Arzu, A. L. ve Yavuz, S. (2018). "Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye", *International Journal of Political Science and Urban Studies*, 6(2), 126-156.
- Özsoylu, F. A. (2020). "*Endüstri 4.0 Tedarik Zinciri Yönetimi İnsan Kaynakları Pazarlama Türkiye Nasıl Hazırlanıyor?*" Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- Petekci, A. R. (2021). "Endüstri 4.0: Fırsat mı Tehlike mi?", *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 7-15.
- Polivka, M. ve Dvorakova, L. (2021). "The Current State of the Use of Selected Industry 4.0 Technologies in Manufacturing Companies", *Annals of DAAAM & Proceedings*, 10(2).
- Popkova, E. G., Ragulina, Y. V. ve Bogoviz, A. V. (2019). "Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions", *In Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, Springer, Cham, 21-29.

- Saniuk, S., Grabowska, S. ve Grebski, W. (2022). "Knowledge and Skills Development in the Context of the Fourth Industrial Revolution Technologies: Interviews of Experts from Pennsylvania State of the USA", *Energies*, 15(7), 2677.
- Saratchandra, M. ve Shrestha, A. (2022). "The Role of Cloud Computing in Knowledge Management for Small and Medium Enterprises: A Systematic Literature Review", *Journal of Knowledge Management*, 26(10), 2668-2698.
- Sarı, E. B. (2020). "Endüstri 4.0 Teknoloji ve Üretim Yönetimi", Nobel Bilimsel Eserler, Ankara.
- Satyro, W. C., de Almeida, C. M. V. B., Pinto Jr, M. J. A., Contador, J. C., Giannetti, B. F., de Lima, A. F. ve Fragomeni, M. A. (2022). "Industry 4.0 Implementation: The Relevance of Sustainability and the Potential Social Impact in A Developing Country", *Journal of Cleaner Production*, 130456.
- Schwab, K. (2016). "Dördüncü Sanayi Devrimi (Zülfü Dicleli; Çeviri)", Optimist Yayım ve Dağıtım, İstanbul.
- Schwab, K. (2017). "The Fourth Industrial Revolution", Crown Business, New York.
- Sırakaya, M. (2016). "Artırılmış Gerçekliğin Uygulamalı Eğitimde Kullanımı: Anakart Montajı", *Journal of Kirsehir Education Faculty*, 17(3), 301-316.
- Soylu, A. (2018). "Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar", *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 43-57.
- Steffen, J. H., Gaskin, J. E., Meservy, T. O., Jenkins, J. L. ve Wolman, I. (2019). "Framework of Affordances for Virtual Reality and Augmented Reality", *Journal of Management Information Systems*, 36(3), 683-729.
- Suleiman, Z., Shaikholla, S., Dikhanbayeva, D., Shehab, E. ve Turkyilmaz, A. (2022). "Industry 4.0: Clustering of Concepts and Characteristics", *Cogent Engineering*, 9(1), 2034264, 1-26.
- Sürmen, Y. E. ve Güler, E. (2021). "Endüstri 4.0 ve Bursa Otomotiv Sanayi: SWOT (GZFT) Analizi ile Bir Değerlendirme", *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27, 328-347.
- Taşlıyan, M. ve Yılmaz, Ö. İ. (2022). "Endüstri 4.0 ve Bileşenlerinin İşletmeler Açısından Genel Sonuçları", *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*, 8(39), 255-262.
- Tiftik, C. ve Bumin Doyduk, H. B. (2017). "Nesnelerin İnterneti: Kapsamı, Gelecek Yönelimi ve İş Fırsatları", *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 52(3), 127-147.

- Tiwary, V. K., Arunkumar, P. ve Malik, V. R. (2021). "An Overview on Joining/Welding as Post-Processing Technique to Circumvent the Build Volume Limitation of An FDM-3D Printer", *Rapid Prototyping Journal*, 27(4), 808-821.
- TÜBİTAK, (2017). "Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası".
- Vaidya, S., Ambad, P. ve Bhosle, S. (2018). "Industry 4.0—A Glimpse", *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238.
- Vinoth, S., Vemula, H. L., Haralayya, B., Mamgain, P., Hasan, M. F. ve Naved, M. (2022). "Application of Cloud Computing in Banking and E-Commerce and Related Security Threats, *Materials Today: Proceedings*, 51, 2172-2175.
- Vuksanović, D. Vešić, J. ve Korčok, D. (2016). "Industry 4.0: The Future Concepts and New Visions of Factory of the Future Development", *International Scientific Conference on Ict and E-Business Related Research*, 293-298.
- Westerlund, M. (2020). "An Ethical Framework for Smart Robots", *Technology Innovation Management Review*, 10(1), 35-44.
- Weyer, S., Meyer, T., Ohmer, M., Gorecky, D. ve Zühlke, D. (2016). "Future Modeling and Simulation of CPS-Based Factories: An Example from the Automotive Industry", *Ifac-Papersonline*, 49(31), 97-102.
- Wong, K. V. ve Hernandez, A. (2012). "A Review Of Additive Manufacturing", *International Scholarly Research Network*, 1-10.
- Xu, J., Huang, E., Hsieh, L., Lee, L. H., Jia, Q. S. ve Chen, C. H. (2016). "Simulation Optimization in the Era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet", *Journal of Simulation*, 10(4), 310-320.
- Yalçınkaya S. (2019). "Sanayi 4.0 teknolojik alanları ve uygulamaları içinde sanayi 4.0. nedir?" Pegem akademi, 1-50.
- Yıldız, T. (2019). Endüstri 4.0, "Çağdaş Yönetim Teknikleri", içinden "Endüstri 4.0", *Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını*, Erzurum.
- Yücel, F. (2004). "Sürdürülebilir Kalkınmanın Sağlanmasında Çevre Korumanın ve Ekonomik Kalkınmanın Karşılıklı ve Birlikteliği", *Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(11), 100-120.