BİLGİ DÜNYASI
INFORMATION WORLD

e-ISSN: 2148-354X

Endüstri 4.0'a Kapsamlı Bir Bakış: 2011'den Bugüne

A Comprehensive Overview towards Industry 4.0: From 2011 Up to Now

Yıldırım YILDIRIM

Makale Bilgisi / *Article Information*

Bu makaleye atıf yapmak için/ *To cite this article:*

Yıldırım, Y. (2019). Endüstri 4.0'a kapsamlı bir bakış: 2011'den bugüne. *Bilgi Dünyası, 20*(2), 217-249. doi: 10.15612/BD.2019.754

Makale türü / *Paper type:* Hakemli / *Refereed*

Literatür Değerlendirmesi */ Literature Review*

Doi: 10.15612/BD.2019.754

Geliş Tarihi / *Received:* 14.05.2019
Kabul Tarihi / *Accepted:* 24.12.2019
Elektronik Yayınlanma Tarihi / *Online Published:* 26.12.2019

İletişim / Communication
Üniversite ve Araştırma Kütüphanecileri Derneği / University and Research Librarians Association
Posta Adresi / Postal Address: Marmara Sok. No:38/17 06420 Yenişehir, Ankara, TÜRKİYE/TURKEY
Tel: +90 312 430 03 61; Faks / Fax: +90 312 430 03 61; E-posta / E-mail: bilgi@bd.org.tr
Web: http://www.bd.org.tr/index.php/bd/index

Literatür Değerlendirmesi

Endüstri 4.0'a Kapsamlı Bir Bakış: 2011'den Bugüne

*Yıldırım YILDIRIM**

Öz

Bu çalışma üretimde yeni bir anlayışı temsil eden Endüstri 4.0 kavramını ve bu kavramla ilişkili olan öğeleri ayrıntılı bir biçimde ele almaktadır. Bilgiyi elde etme endişesi yerini elde edilen bilginin nasıl ve ne şekilde kontrol edileceği endişesine bırakmıştır. İnternetin ve gelişen teknolojinin gücüyle birlikte çok daha hızlı, paylaşılabilen, değiştirilip kontrol edilebilen ve işletme lehine verimlilik yaratıp, doğru ve stratejik kararlar almada kilit bir unsur olarak karşımıza çıkan bilgi, üreticilere önemli girdiler sağlamaktadır. Literatürde bakıldığında Endüstri 4.0 kavramının bütün yönlerinden ziyade belirli özelliklerinin ele alındığı ve işlendiği görülmektedir. Yabancı literatürde bu yeni dijital dönüşümün işletmeler için taşıdığı zorluklar ve uygulama güçlükleri üzerine vurgu yapılmakta, işletmelerin bunun üstesinden nasıl gelebilecekleri anlatılmaktadır. Bu çalışmada Endüstri 4.0 kavramının ne olduğu, tarihsel süreci, başka hangi kavramlarla yakın ilişki içinde olduğu detaylı bir şekilde işlenmektedir. Bu tür kavramsal çalışmalar ileride yapılacak uygulamalı araştırmalara bir temel oluşturmakta ve alt yapısı sağlam oluşturulmuş teorik bir çerçeve araştırmacılara hangi alanlarda boşluklar olduğunu daha net gösterebilmektedir. Bu çalışmanın diğer çalışmalara bir rehber olması beklenmekte ve konunun ilgili tüm paydaşlar tarafından anlaşılmasına yardımcı olması amaçlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: *Endüstri 4.0, endüstriyel devrimler, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, büyük veri, bulut, akıllı fabrikalar.*

* Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi Akçakoca Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu, yildirimyildirim@duzce.edu.tr

Literature Review

A Comprehensive Overview towards Industry 4.0: From 2011 Up to Now

*Yıldırım YILDIRIM**

Abstract

This study elaborates on the concept of Industry 4.0, which represents a new understanding of production, and the elements associated with it. Now, the concerns about accessing information have left their place to the concerns about managing the amount of information accessed and making that information valuable. With the power of the Internet and developing technology, the information that is seen as a key element in making the right and strategic decisions, creating efficiency in favor of the business, being able to be shared, controlled and controlled, provides important inputs to the producers. In the literature, it is seen that certain features of Industry 4.0 concept are discussed and processed rather than all aspects. In the literature, the emphasis is placed on the challenges of the new digital transformation for businesses and the difficulties of implementation, and explains how businesses can overcome this. In this study, what is the concept of Industry 4.0, its historical process, and other concepts are discussed in detail. Such literature studies provide a basis for future applied research, and a well-established theoretical framework with a strong background can show the researchers what areas are gaps. This study is expected to be a guide for other studies and is intended to help the issue to be understood by all relevant stakeholders.

Keywords: *Industry 4.0, industrial revolutions, internet of things (IoT), cyber-pyhsical systems, big data, cloud computing, smart factories.*

* Asst. Prof. Yıldırım YILDIRIM (Ph.D), Duzce University Akçakoca Tourism and Hospitality Management, yildirimyildirim@duzce.edu.tr

Giriş

Yeni ve yıkıcı iş modelleri dördüncü sanayi devrimi olarak da bilinen Endüstri 4.0 öğeleri etrafında şekillenmektedir. Ancak bu öğelerin ne olduğu tam olarak bilinmemekte ve Endüstri 4.0 uygulamasında bazı zorluklarla karşılaşılabilmektedir. İşletmeler bu yeni dijital dönüşüme temkinli ve ön yargılı yaklaşabilmektedir. Alan yazında yeni yeni popüler olmaya başlayan bu konu Endüstri 4.0'ın birkaç öğesi üzerine odaklanmakta, hala işletmelerin reelde bu yeni üretim paradigmasını nasıl kullanabileceklerine dair kanıtlar konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Literatürde üretimin dijitalleşmesi olarak bilinen Endüstri 4.0'ın yüksek finansal ve teknolojik çaba gerektirdiği vurgulanmaktadır. Bu tür çabaların doğal riski de Endüstri 4.0'ın ulaşılamaz ve uygulanamaz vizyonunu atölye düzeyine indirecek pragmatist düşünürlerin ve aktörlerin eksikliğidir. Temel olarak dört bölümden oluşan çalışmada Endüstri 4.0 ile ilişkili kavramlar detaylı bir şekilde ele alınırken, aynı zamanda bu döneme gelene kadar geçirilen evrelerden bahsedilmektedir. Endüstri 1.0, 2.0 3.0 dönemlerine ait özellikler ve bu dönemlerde hangi gelişmelerin meydana geldiği ve Endüstri 4.0'ın sağladığı avantajlar ile meydana getirdiği dezavantajlar da açıklanmaktadır. Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan tanımlamalar bir özet halinde bu çalışmada gösterilmektedir. Böylece kavramın nasıl tanımlandığı ve tanımlanmasındaki eksiklikler okuyucular ve uygulamacılar tarafından görülebilmektedir. Son çalışmalar Endüstri 4.0'ın yüzden fazla farklı tanımı olduğunu (Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo ve Barbaray, 2017) dolayısıyla Endüstri 4.0'ın net bir tanımı olmadığını (Götz ve Jankowska, 2017) söylemektedir. Endüstri 4.0 ile ilişkili olan bağlı kavramlarda on bir alt başlığa ayrılarak açıklanmaktadır. Genel olarak yabancı literatürde kavramın dokuz teknolojik ilerleme ile açıklandığı görülmüştür. Bu çalışmada iki ilave açıklamayla Endüstri 4.0 kavramı genişletilmiştir. Bilinmektedir ki bir konuda deneysel (ampirik) çalışmalar yapmadan önce konunun teorik-kavramsal çerçevesinin iyi çizilmesi önem taşımaktadır. İyi bir kavramsal alt yapı ileride yapılacak deneysel çalışmalara öncülük edecektir.

Endüstriyel Devrimler ve Tarihsel Bir Bakış

Endüstri 4.0, önceki sanayi gelişmelerinin bir evrimi olarak sırasıyla, su ve buhar gücünün ortaya çıkışı, elektrikle birlikte seri üretimin yaygınlaşması, bilgi teknolojileri ve elektronik sistemlerin otomasyondaki kullanımını arttırmak için dijital çağ ve bilgi ekonomisinin tanıtılması olarak gelişmiş ve bugüne kadar uzanmıştır (Laudante, 2017). Her sanayi devrimi kendinden önceki gelişmelerin bir sonucu, kendinden sonraki başlangıçların ise sebebidir. Yeni teknolojik gelişmelerin altında yetersiz kalan kaynakların daha etkin kullanımı ve müşteri ihtiyaçlarının daha hızlı ve esnek biçimde karşılanma isteği yatmaktadır. Bu sebeple birinci sanayi devriminden şu anda yaşadığımız dördüncü sanayi devrimine kadar olan süreçte kaynakların sürdürülebilirliği ve pazarın dinamik yapısının sürekli değişmesi sonucunda müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi ve küreselleşme baskısı, ortaya çıkan gelişmelerin hem sebebi hem de sonucudur. Havlicek (2017), Endüstri 4.0 ile ilgili bilinmesi gereken yedi gerçeği açıkladığı yazısında, bu yeni kavramla birlikte şirketlerin sadece teknoloji ihtiyaçlarının değil, aynı zamanda düşünce

tarzının da değiştiğini belirtmektedir. Tarım toplumundan sanayi toplumuna geçişte, sanayi devirleri arasındaki değişimlerde yaşanan olayların yalnızca ekonomik ve üretime dayalı olmadığını görmek mümkündür. Bu değişimler beraberinde çok büyük sosyal ve kültürel değişimlere de öncülük etmişlerdir. Endüstri 4.0'ı ve dijitalleşmeyi zorunlu kılan itici güçlerden birinin belki de en önemlisinin "küreselleşme" olduğu vurgulanmaktadır (Biahmou, Emmer, Pfouga ve Stjepandić, 2016). Rekabet, talep, teknoloji ve yasalardaki hızlı değişiklikler, kuruluşların hızlı bir şekilde yanıt verebilmelerini ve çevreye uyum sağlayabilmelerini her zamankinden daha önemli hale getirmektedir (Ellis, 2018).

Vassileva (2017, s. 47-48) yaşanan teknolojik dönüşümleri tetikleyen faktörleri dört ana başlıkta toplamaktadır. Birincisi kentleşme ve kentleşmeyle birlikte insanların ekonomik davranışlarının gelişmiş Avrupa ülkelerinden Doğu ve Güney yarıküredeki pazarlara doğru kaymasıdır, ikincisi, teknolojinin kapsamı, ölçeği ve ekonomideki etkisinin artan hızıdır. Üçüncüsü dünyanın yaşlanan nüfusudur. Son faktör ise dünyanın ticaret yoluyla sermaye, bilgi ve insan davranışlarına veri ve iletişim yoluyla daha fazla bağlanmasıdır.

İlk sanayi devrimi, ürünlerin yüksek maliyetle ve sınırlı sayıda ürünle kullanıcıların ihtiyaçlarına göre üretildiği "Sanayi 1.0" veya "el işçiliğiyle üretim (Craft Production – CP)" olarak adlandırılır. 18. yüzyıl sonundaki bu gelişme, kömür madenciliğinin, buhar makinelerinin ve ilk makinelerin üretime sokulmasıyla mümkün kılınan dönemi ifade eder. "Sanayi 2.0" veya "Kitlesel üretim (Mass production – MP)" olarak adlandırılan ikinci sanayi devrinde, büyük ölçekli üretim sistemleri kullanılarak düşük maliyetli ürünler yapıldı. Kitlesel üretim tarafından sunulan ürün çeşitliliği çok küçük ve sınırlıydı. 1926'da Henry Ford'un, "Herhangi bir müşterinin siyah olduğu sürece istediği renkte arabaya sahip olabileceğine" dair düşüncesi kitlesel üretim anlayışını yansıtmaktaydı. Kitlesel üretim Taylor'ın rasyonalizasyon ilkelerini içeriyordu ve temel olarak hassas mühendislik, iş bölümü, standardizasyon ve montaj hattı çalışmalarına dayanıyordu. İlk konveyör bandı, Ford otomobil markasının kurucusu Henry Ford tarafından T-modelini üretmek ve otomobil endüstrisinde büyük bir başarı elde etmek için kullanıldı. Bu anlamda 20. yüzyılın başlarında gerçekleşen ikinci sanayi devrimi elektriğin üretimde kullanılması sonucu ilk seri üretim hattının kurulduğu dönemi ifade eder. Üçüncü sanayi devrimi "Sanayi 3.0" veya "Kitlesel özelleştirilmiş üretim (Mass Customization Production – MCP)" olarak adlandırılıyor. 1980'lerin sonlarında, çok çeşitli ürünlere yönelik müşteri talebi, "Kitlesel bireyselleştirmenin" geliştirilmesine yol açmıştır. Üçüncü sanayi devrimi, bilgi, otomasyon teknolojisi ve bilgisayar gelişimine dayanıyordu. Bu dönemde, endüstriyel robotlar, esnek üretim sistemleri ve gömülü sistemler gibi sayısal kontrollü makinelerin yanı sıra ürün yaşam yönetimi, kurumsal kaynak planlaması gibi geleneksel üretim yönetim sistemlerine başvuruluyordu. Sonuç olarak, Endüstri 3.0 esnek üretim ve geliştirilmiş sistemler yüksek verimlilik, düşük maliyet ve büyük ürün çeşitliliği özelliklerine sahiptir. Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi ise, 21. yüzyılın başında güçlü robotikler, otonom makineler, sayısallaştırma, nesnelerin interneti, gerçek dünya ile siber dünyanın daha yakın etkileşimi ve yapay zeka ile

karakterize edilir (Wang, Ma, Yang ve Wang, 2017, s. 311-312; Mohelska ve Sokolova, 2018, s. 2226). Dördüncü sanayi devrimi, ürün tasarımı, geliştirme, üretim ve dağıtımdan satış sonrası hizmetlere kadar tüm üretim sürecinin daha da karmaşık şekilde birbiriyle bağlantılı olması anlamına gelmektedir. Bu sanayi devriminde, ağ bağlantıları ve çeşitli sensörler (kameralar, oda sıcaklığını ölçen sensörler vb.) ile kendilerini kontrol eden ve düzenleyen otonom robotlar kullanılmaktadır.

Endüstri 4.0 Kavramı

Günümüzde yaygın olarak kabul edilen Endüstri 4.0 terimi, 2011 yılında Hannover Ticaret Fuarı'nda, Alman endüstrisinin rekabet gücünü güçlendirme fikrini destekleyen iş, politika ve bilim temsilcilerinin ortak girişiminin adı olarak ortaya atılmıştır. Bu kavram her ne kadar öncelikle Almanca konuşulan ülkeler arasında yayılsa da (Lasi, Fettke, Kemper, Feld ve Hoffmann, 2014) farklı ülkeler farklı isimler altında kavrama ilgi göstermeye ve hükümet politikalarında yer vermeye başlamışlardır. Örneğin, Almanya – Industrie 4.0 veya İleri Teknoloji Stratejisi 2020 (High-Tech Strategy 2020), Fransa – Nouvelle France Industrielle veya Industrie du Futur, Amerika Birleşik Devletlerinde – Endüstriyel İnternet veya Gelişmiş Üretim Ortaklığı (Advanced Manufacturing Partnership), İngiltere'de Yüksek Değerli Üretim, İsveç – Produktion 2030, İtalya – Fabbrica Intelligente, Belçika/Hollanda – Made Different, İspanya – Industria Conectada 4.0, Avusturya – Produktion der Zukunft, Brezilya'da Rumo à Indústria 4.0 ve Çin'de 2025 Made in China gibi (Laudante, 2017; Dalenogare, Benitez, Ayala ve Frank, 2018). Bu yenilikçi ve karmaşık sürecin tanımı için akıllı üretim, dördüncü sanayi devrimi, akıllı fabrika, geleceğin fabrikası ve Endüstri 4.0 gibi farklı eş anlamlı kelimeler kullanılsa da özellikleri aynı olan ve temel olarak fiziksel süreçlerin dijital teknolojiler ile entegrasyonunu kapsayan bir süreç tanımlanmaktadır (Laudante, 2017, s. 2725). Gelişen teknolojiler sayesinde ortaya çıkan mevcut gelişmelerin hızının tarihsel bir emsali yoktur ve her sektörde ve her ülkede fazlasıyla hissedilmektedir. Uzmanların "Dördüncü Sanayi Devrimi" diye adlandırdığı bu teknolojik dönüşüm, fiziksel ve dijital küreler arasındaki çizgileri bulanıklaştıran veri, teknoloji ve bağlanabilirlik ile nitelendirilmektedir (Ellis, 2018).

Endüstri 4.0 ile ilgili Web of Science'da 2013-2017 yılları arasında beş yıllık bir sürede yayınlanan 333 çalışmanın bibliyometrik analizinin yapıldığı bir araştırmada konunun yıllar itibariyle artan bir ilgiyle karşılandığı görülmektedir. Buna göre, 2013 yılında 1, 2014 yılında 1, 2015 yılında 18, 2016 yılında 93 ve 2017 yılında ise 220 çalışma yayınlanmıştır (Cobo, Jürgens, Herrero-Solana, Martinez ve Herrera-Viedma, 2018, s. 370). Makalede Endüstri 4.0 kavramıyla ilgili incelenen 333 çalışmanın konusunun büyük çoğunluğunun Siber-fiziksel sistemler ile bulut bilişimden oluştuğu belirtilmektedir. Benzer şekilde Kamble, Gunasekaran ve Gawankar (2018) ise Endüstri 4.0 ile ilgili kapsamlı bir literatür çalışması yapmışlar ve Elsevier, Springer, Emerald, Taylor ve Francis gibi veri tabanlarında inceledikleri 529 çalışmada seçilen anahtar kelimelerin sıklıkla Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, akıllı üretim, siber-fiziksel sistemler olduğu görülmüştür. Ayrıca 2012-2017

yılları arasında incelenen çalışmaların türüne bakıldığında 37 çalışmanın kavramsal, 21'inin vaka analizi, 6'sının deneysel ve yalnızca 5 tanesinin anket çalışması olduğu görülmüştür.

Moeuf ve arkadaşları da (2017) Elsevier, Emerald, Springer, Taylor & Francis veri tabanlarında KOBİ'lerde Endüstri 4.0 uygulamalarını ampirik olarak inceleyen makaleleri ele almış ve bu makaleleri bibliyometrik analize tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucunda bulut bilişim ile nesnelerin internetinin Endüstri 4.0 girişimlerini uygulamak için en sık kullanılan teknolojiler olduğu görülmüştür. Yani bu araştırma sonucundan anket, saha çalışması gibi uygulamalı çalışmaların daha çok bulut bilişim ve nesnelerin interneti dışında kalan teknolojiler üzerinde yoğunlaşılması gerektiği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Maresova ve arkadaşlarının (2018) Endüstri 4.0 kavramının işletme ve ekonomideki sonuçlarını araştırmak için 2014 ila 2018'in ilk çeyreği arasında Scopus, Web of Science ve Science Direct gibi veri tabanlarında yayınlanan çalışmaların geniş bir literatür taramasını yapmışlardır. Endüstri 4.0 ile ekonomi, ekonomik gelişme, üretim ekonomisi ve finans sektörü gibi anahtar kelimeleriyle aratılan 2275 çalışma yıllara ve anahtar kelimelere göre incelenmiştir.

Kavrama duyulan yüksek ilgiye rağmen Endüstri 4.0'ı tanımlamak zordur ve her araştırmacı bu kavramı farklı bir özelliğini öne çıkararak tanımlama yoluna gitmiştir. Alman telekomünikasyon derneği BITKOM, Endüstri 4.0'ın 100'den fazla farklı tanımını ortaya koymaktadır (Moeuf ve diğ., 2017). Endüstri 4.0, son derece özelleştirilmiş ürünlerin seri bir şekilde üretilebilmesi için bilgi ve iletişim teknolojilerini entegre eden otonom ve dinamik bir üretimi hedeflemektedir (Tortorella ve Fettermann, 2017).

Endüstri 4.0'ın ana fikirleri ilk olarak Kagermann tarafından 2011'de yayınlandı ve 2013 yılında Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi tarafından yayınlanan Endüstri 4.0 manifestosunun temelini oluşturdu (Stock ve Seliger, 2016, s. 536). Bu kavramla birlikte yaygın olarak kullanılan "kitlesel kişiselleştirme" (Schmidt ve diğ., 2015; Sanders, Elangeswaran ve Wulfsberg, 2016; Wang ve diğ., 2017; Zhong, Xu, Klotz ve Newman, 2017) Endüstri 4.0'ın pazarlama yönüne vurgu yapmaktadır. Bu oksimoron kavram yeni dijital üretimin entelektüel buluşlarından biri olarak görülmekte ve üreticilerin/pazarlamacıların tekliflerini bireysel alıcılar için özelleştirmelerini mümkün kılmaktadır (Kotler, 1989, s. 13). 3B yazıcılar, küçük parti üretimleri bugünün büyük hacimli üretim maliyetleri düzeyinde üretilmesine imkân tanımakta (Mohelska ve Sokolova, 2018, s. 2226) ve müşteriyi üretim sürecine her zamankinden daha fazla dâhil etmektedir. Benzer şekilde Nesnelerin İnterneti sayesinde dünyanın her yerinden ulaşılan bilgi ve ürünlerin yaşam döngülerinin her aşamasında üreticiye gerçek zamanlı bilgi vermesi müşteri gereksinimlerinin hiç olmadığı kadar yerinde ve zamanında karşılanmasını sağlamaktadır.

Dijitalleşme ve otomasyon ile karakterize edilen Endüstri 4.0'ın (Adam, Aringer-Walch ve Bengler, 2018) yönetim ve gelecekteki işler hakkında daha fazla sonuç vermesi

beklenmektedir, bu da endüstri ve pazarlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olacak, sonuçta tüm ürün yaşam döngüsünü etkileyecek yeni bir iş modeli yaratılmasına olanak tanıyacak, ürünleri üretmenin, iş yapmanın, üretim süreçlerinin iyileştirilmesinin ve şirketin rekabet gücünü arttırmanın yeni yolunu sağlayacaktır (Maresova ve diğ., 2018). Bu anlamda Endüstri 4.0 uzun bir gelişme sürecinin bir sonraki adımıdır ve siber-fiziksel sistemlerin kullanımına dayalı bir devrimdir. Endüstri 4.0 daha ileriki gelişme, açıklama ve hayal gücü için yaratılan fırsatlar tarafından tanıtılmaktadır.

Endüstri 4.0'ın amacı sadece akıllı, yetenekli ve bilişsel üretim sistemlerini veya fabrikalarını değil aynı zamanda akıllı ürün ve hizmetleri üretmektir (Rauch, Dallasega ve Matt, 2016, s. 26). Dijitalleşme, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaşamın tüm alanlarına nüfuz etmesi anlamına gelmektedir. Bilgi ve bilgi akışlarının çok verimli bir şekilde kullanılmasını, güncel (gerçek zamanlı veya gerçek zamanlıya yakın) ve ayrıntı düzeyiyle ilgili olarak yüksek kalitede verinin elde edilmesini sağlar. Endüstrinin dijitalleşmesinin mevcut durumu ve gelişiminin standardizasyon, insan faktörleri ve yasal yönler üzerindeki etkisi, ücretsiz olarak indirilebilen Alman Standardizasyon Yol Haritası: Endüstrisi 4.0'da açıklanmaktadır (Jeske, Weber, Würfels, Lennings ve Stowasser, 2019, s. 321).

Endüstri 4.0 kavramının tanımı ve bu tanımda yer alan unsurların vurgusu her bir araştırmacı tarafından farklı şekillerde yapılmış ancak kavramın net bir tanımı ortaya konulamamıştır. Bu nedenle, Endüstri 4.0'ın genel kabul görmüş bir anlayışı henüz yayınlanmamıştır (Buer, Strandhagen ve Chan, 2018, s. 2925). Bu yüzden, Endüstri 4.0 terimiyle ilgili literatürde yapılan tanımlamalardan öne çıkan bazı özellikleri kısaca özetlemek konunun anlaşılması yönünden önem taşımaktadır. Endüstri 4.0 üzerine yapılan tanımlamalara bakıldığında farklı araştırmacıların bu kavramın farklı yönlerine vurgu yaptığı ve bu yeni teknolojik gelişmeyi tanımlarken farklı bir özelliğini ortaya koyduğu görülmektedir. Örneğin, Endüstri 4.0, hem ürünleri hemde süreçleri kucaklayan ve dijital ile fizikselin birleşimi olarak adlandırılırken (Schmidt vd., 2015; Prause, 2015, s. 160; Götz ve Jankowska, 2017, s. 1634), bir başka araştırmacı Endüstri 4.0'ı gelecekteki üretimin bir vizyonu olarak tanımlamaktadır (Kolberg ve Züehlke, 2015). Bazı araştırmacılar Endüstri 4.0'ı genç Alman terimi olarak görmekte (Sanders ve diğ., 2016, s. 816), bu terimin üretim maliyetlerini ve kalitesini optimize etmek ve üretimde esnekliği sağlamak için önemli olduğunu belirtmektedir (Strange ve Zucchella, 2017, s. 1). Ayrıca Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan tanımlamalarda değer yaratma vurgusu da yapılmakta (Xu, Xu ve Li, 2018, s. 2956) ve bu değerin kavramın ancak bir sistem perspektifinde bütün olarak ele alındığında ortaya çıkacağı söylenmektedir (Weber, 2016). Endüstri 4.0 kavramıyla ilgili tanımlamalarda sıklıkla insan-makine uyumuna (Laudante, 20 17, s. 2724; Ślusarczyk, 2018), insanlar arasındaki, nesneler arasındaki ve insanlarla nesneler arasındaki bilgi aktarımına **(**Ciffolilli ve Muscio, 2018, s. 2324, 2327) ve farklı teknolojilerin bir araya gelmesini gerektiren üretim sistemlerine (Flores, Maklin, Golob, Al-Ashaab ve Tucci, 2018, s. 8), atıfta bulunulmaktadır. Endüstri 4.0 kavramının ekonomide sürdürülebilirliği sağlayacağı ve küreselleşme sonucunda dünya genelinde sürekli artan sermaye ve tüketim malları talebini karşılama zorluğuyla ancak Endüstri 4.0 kavramıyla

başa çıkılabileceğini savunan görüşlerde mevcuttur. Küreselleşmenin etkisinin arttığı dönemlerde işletmeler, hem müşteri ihtiyaçlarında hem de pazarların doğasında hızlı değişimlerle karşı karşıyadır. Şirketlerin rekabet gücü kazanmaları, performanslarını iyileştirmeleri, yeni müşterileri çekmek ve mevcut olanları ise memnun etmek için yeni ürünler ve yeni stratejiler geliştirmek zorundadırlar. Bu yüzden bir şirketi ileriye taşıyan inovasyon kavramı artık daha da önem kazanmaktadır (Ungerman ve diğ., 2018, s. 1332). İnovasyon baskısı altında olan işletmelerin rekabet gücü kazanmaları ve hayatta kalabilmeleri yeni ürün geliştirme ve azalan ürün yaşam döngülerini karşılayabilme güçlerine bağlı olmaktadır (Rossi, Kerga, Taisch ve Terzi, 2014, s. 455). Bu bağlamda 2011 yılından beri popülaritesini arttıran bu kavramın hem sürdürülebilir üretimin gerçekleştirilmesi (Kiel, Müller, Arnold ve Voigt, 2017) hem de işletmelerin yenilikçi özellik kazanabilmeleri için muazzam fırsatlar sunduğu öne sürülebilir (Stock ve Seliger, 2016, s. 536). Endüstri 4.0'ın çevresel boyuttaki bu katkısı döngüsel ekonomi bağlamında cam geri dönüşüm endüstrisinde kullanıcı deneyimine dayalı bir ürün tasarım yaklaşımı önerilen bir çalışmada da ele alınmış ve camların geri dönüşüm sürecinde sürdürülebilirlik yönüne vurgu yapılmıştır (Lin, 2018). Endüstri 4.0 kavramı yeni ve farklı üretim yollarını sağlayacak yeni bir kavram olarak görülse de 1970'lerin başında başlayan ve üretimde yüksek düzeyde bir otomasyon gerçekleştirmeye yönelik elektronik ve bilgi teknolojilerine dayanan üçüncü sanayi devriminin devamı niteliğinde görenlerde bulunmaktadır (Stock ve Seliger, 2016; Laudante, 2017). Hatta bu konuda Kolberg ve Züehlke (2015, s. 1870) Endüstri 4.0 için *"İlk bakışta, modern bilgi ve iletişim teknolojileri tarafından yönlendirilen eski bilgisayar destekli üretim fikrinin yeniden doğuşu gibi görünüyor"* demektedir. Endüstri 4.0'ın uygulanması, imalat ve ileri teknoloji sektöründeki rekabetçiliği Batı ülkelerine geri getirme umuduyla ilişkilidir. Çünkü rekabet gücü üretimde artan otomasyon ve maliyetlerdeki devamlı azalıştan dolayı Asya ülkelerine (özellikle Çin'e) doğru kaymaktadır (Prause, 2015).

Endüstri 4.0 birkaç önemli hususu ele almaktadır (Posada ve diğ., 2015, s. 27):

- Üretilen ürünlerin bilgi teknolojilerine (BT) dayalı olarak kitlesel özelleştirilmesi,
- Üretim zincirinin değişen ihtiyaçlara otomatik ve esnek adaptasyonu,
- Parçaların ve ürünlerin takibi ve bilinçli hareketi ile bunların makineler ve diğer ürünler ile iletişimi,
- Birlikte çalışabilirlik kuralı gereği robotlarla bir arada bulunma veya fabrikalarda insan-makine, makine-makine etkileşiminin olması,
- Akıllı fabrikalarda Nesnelerin İnterneti ile etkin iletişim sayesinde üretimin optimizasyonu,
- Radikal bir şekilde değişen yeni hizmet türleri ve iş modellerine katkıda bulunan değer zincirleri etkileşimi

Girişimcilerin Endüstri 4.0'a karşı tutumlarını sunmak ve üreticilerin kavramın içerdiği unsurların uygulanmasına hazır olup olmadığını göstermek amacıyla yapılan bir çalışmada üreticilerin Sanayi 4.0 kavramından ne anladıkları sorulmuş ve cevaplar "kendi cümleleriyle" birlikte kaydedilmiştir. Buna göre üreticilerin Sanayi 4.0 kavramına ilişkin görüşleri şöyledir:

- "Hizmet sunumunu geliştirmek"
- "Ürünleri en iyi hale getirmek için yardımcı olacak bilgiler"
- "Nihai emel ve hedeflerin sağlayıcısı"
- "Rekabetçi üretim için vazgeçilmez unsur"
- "Gerçek zamanlı veri kullanılabilirliği ve bilgisi"
- "Müşteriler için daha iyi çözümler sağlama işi"
- "Bilgi akışı ve değişim"
- "İletişim ve veri analizi"
- "Verileri daha hızlı çözümler üretmek için kullanma"

Verilen cevaplara bakıldığında pazarlamanın temellerini görmek mümkündür. Ürünlerin ve hizmetlerin müşterilerin sorunlarını gidermesi, iletişimin hiç kopmadan sürmesi, ürünlerle birlikte hizmetlerinde sunumunu daha etkin şekilde gerçekleştirebilmek gibi pazarlamayı ilgilendiren ve bütün işletmelerin başarmayı istedikleri yegâne hedefler Endüstri 4.0 kavramının tanımında ve içeriğinde yer almaktadır. Mühendisler ve pazarlamacılar birlikte etkili bir şekilde çalışacaksa, yöneticiler bu iki önemli işlev arasında düzgün bir ilişki kurmak için var olabilecek olası sorunları tanımlamalı ve gerekli önlemleri almalıdır. Endüstriyel bağlamda, mühendisler ve pazarlamacılar müşterilerin satın almak istedikleri ürünleri geliştirmek, üretmek ve pazarlamak için birlikte çalışırlar. Shaw ve Shaw (2003) şirketlerin yeni ürün geliştirme, üretim ve küresel rekabet alanında başarılı olması için, pazarlama ve teknik profesyoneller arasında iyi ilişkilerin gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Ürün mühendisliği, üretim ve Ar-Ge gibi fonksiyonlar teknik çalışmalar yürüten bir grup olarak görülebilir fakat bu işlevlerin hepsi pazarlama ile önemli bir etkileşime sahiptir ve bir kuruluşun ürünlerinin başarısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Shaw ve Shaw, 2003, s. 347).

Endüstri 4.0'ın Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar

Endüstri 4.0 kavramı konuşulmaya başlandığı andan itibaren yalnızca üretime ve üreticilere değil hayatımızın her alanında birçok fayda sağlayacağı öngörülmüştür. Bu kavramın sağlayıcıları olarak bilinen bileşenler çalışmanın ilerleyen kısımlarında ayrıntılı olarak ele alınacak olup, burada Endüstri 4.0 kavramının işletmelere ve endüstriye sağladığı avantajlara değinilecek ve aynı zamanda bu kavramın uygulanmasındaki

zorluklardan bahsedilecektir. Endüstri 4.0'ın dünya çapındaki potansiyel etkisine ilişkin nicel bir anlayış sağlamak için, Almanya'daki imalat durumunun incelendiği bir çalışmada bu kavramın verimlilik, gelir artışı, istihdam ve yatırım olmak üzere dört alanda fayda sağlayacağı belirtilmektedir (Rüßmann ve diğ, 2015). Başka bir çalışma ise Endüstri 4.0 uygulamalarını hedefleyen üreticilerin beklediği potansiyel faydaları maliyet azaltma, esneklik, istikrarlı pazar konumu, kalite güvencesi ve artan ciro olarak dört boyutta ele almıştır (Sauter, Bode ve Kittelberger, 2015, s. 3).

Önümüzdeki beş ile 10 yıl boyunca Alman imalat sektöründe verimliliğin 90 ile 150 milyar Avro arasında artacağı, malzeme maliyetleri hariç verimlilik artışının %15 ile %25 arasında değişeceği, malzeme maliyetleri ile birlikte bu artışın %5 ile %8 arasında olacağı öngörülmektedir. Üreticilerin gelişmiş ekipman ve yeni veri uygulamalarına olan taleplerinin yanı sıra gittikçe artan sayıda özelleştirilmiş ürün için tüketici talepleri yılda yaklaşık 30 milyar Avro'luk paya ulaşacağı ve Almanya'nın GSYİH'sinin yaklaşık %1'i kadar ek gelir artışı sağlayacağı tahmin edilmektedir. Endüstri 4.0'ın Alman üretimi üzerindeki istihdam etkisine ilişkin tahminlerde ise %6'lık bir artış beklenmektedir. Makine mühendisliği sektöründeki çalışanlara yönelik talep, aynı dönemde %10'a kadar fazladan artış olabilir. Yatırım bakımından değerlendirildiğinde ise üretim süreçlerini Endüstri 4.0'ı içerecek şekilde uyarlamak, Alman üreticilerin önümüzdeki on yıl boyunca – üreticilerin gelirlerinin yaklaşık %1 ile 1,5'i – yaklaşık 250 milyar Avro'luk yatırım yapmasını gerektirecektir (Rüßmann ve diğ., 2015). Alman işletmeleri üzerinde yapılan bir başka çalışmaya göre Alman firmalarının en az %41'i Endüstri 4.0 kavramının farkındadır ve bazı somut girişimlere başlamıştır. Ama hala uzun bir yol vardır ve bazı endüstriler için konu hala bilinmemektedir. Bu özellikle, %44'ünün Endüstri 4.0'dan habersiz olduğu küçük ölçekli işletmeler için geçerlidir. Öte yandan, daha büyük şirketlerde bu kavram iyi bilinmekte olup sadece %17'si terim hakkında bilgileri olmadığını söylemiştir (Sanders ve diğ., 2016).

Kagermann, Wahlster ve Helbig'te (2013), Endüstri 4.0'ın enerji ve kaynak verimliliği sağladığını, verimlilik artışına neden olduğunu, inovasyon süresini kısalttığı ve değer ağları aracılığıyla yatay ve dikey entegrasyon sağladığını vurgulamaktadır. Endüstri 4.0 ayrıca çalışanlar ve iş ortakları arasında daha iyi bir iş birliğinin oluşturulmasını sağlar ve "birlikte çalışabilirlik" kuralının kusursuz biçimde üretim ortamında uygulanmasını teşvik eder. Buna ek olarak geleneksel tahmin tabanlı üretim planlamasının aksine, Endüstri 4.0 dinamik, kendi kendini optimizasyon ile birlikte, üretim planlarının gerçek zamanlı yapılabilmesini sağlar (Sanders ve diğ., 2016, s. 817). Dijitalleşmenin etkilerinin araştırıldığı ve 50 işletme arasında pilot bir çalışma yapılarak, elde edilen bulguların içerik analizi yöntemi kullanılarak değerlendirildiği bir çalışmada pazarlama yeniliğinin 15 temel aracının bir listesi oluşturulmuştur. Buna göre işletmelerin Endüstri 4.0 bağlamında sektörün yenilikçi pazarlamadaki en büyük etkisinin kurumsal rekabet gücünde artış olarak ortaya çıktığı ve kurumsal rekabet unsurunun en yüksek puana sahip olduğu ampirik olarak kanıtlamıştır. Rekabet gücünün yanı sıra, iş verimliliğini

arttırmak ve kurum kültürünü değiştirmekte dijitalleşmenin ve Endüstri 4.0'ın en güçlü yenilikçi pazarlama etkileri arasında görüldüğü ortaya çıkmıştır (Ungerman ve diğ., 2018, s. 132). Endüstri 4.0'ın iş modellerinde yarattığı yenilikler özellikle rekabet gücü yüksek pazar ortamlarında benzersiz satış teklifleri sunmakta ve stratejik farklılaşma kaynağı olabilmektedir (Mohelska ve Sokolova, 2018, s. 2227).

Endüstri 4.0 üretimde kitlesel özelleştirme imkânı sağlamanın yanı sıra, tasarıma doğrudan müşterilerin dâhil olmasını, şirketlerin daha kısa çevrim süreleri elde etmesini ve daha düşük maliyetlerle özelleştirilmiş ürünler üretilmesini sağlayacaktır. Üretim, bugünün ekonomisinin önemli bir parçasıdır. Akıllı üretim, üretimin daha hızlı, daha esnek, müşteri ihtiyaçlarına ve değişen küresel pazarlara daha hızlı yanıt vermesiyle fiziksel ve organizasyonel yapıları ve tesisleri teknolojideki değişimlere hızlı bir şekilde ayarlayabilecektir (Wang ve diğ., 2017, s. 311).

Girişimcilerin Endüstri 4.0'a karşı tutumlarını göstermek, kavramın içerdiği unsurların uygulanmasına hazır olup olmadığımızı göstermek ve işletmeleri Endüstri 4.0 bağlamında daha yüksek teknolojik ve organizasyonel düzeyde başarı elde etmelerini engelleyen faktörleri ortaya koymak amacıyla yapılan bir araştırmada çalışmaya katılanların büyük çoğunluğu Sanayi 4.0 kavramının uygulanmasındaki hükümet politikaları ülkeye, sektöre hatta şirket yapılarına göre farklılaşsa da, yaratacağı fırsatları, değişim ve gelişmeler ile sağlayacağı rekabet avantajlarını kabul etmektedir (Ślusarczyk, 2018, s. 232). Bir başka çalışmada da Endüstri 4.0 uygulamaları ile ilgili fırsat ve zorlukların algılanmasının büyük ölçüde farklı şirket özelliklerine bağlı olduğu vurgulanmıştır (Maresova ve diğ., 2018). KOBİ'lerin Endüstri 4.0 uygulamalarına bakış açısı ve karşılaştıkları zorluklar, büyük firmalarınki ile aynı olmayacaktır. Özellikle siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi teknolojik ilerlemelerin uygulamaları KOBİ'lerde daha sınırlı olabilecekken, büyük işletmelerde bu tür yüksek yatırım gerektiren temel teknolojilerin uygulamaları daha kolay gerçekleşebilmektedir.

Endüstri 4.0 ile ilgili zorluklar literatürde farklı araştırmacılar tarafından şu şekilde belirtilmektedir.

- Yeni teknolojinin satın alınması için gereken finansal yatırımların büyük işletmeler dışındaki işletmelerde bulunmayışı (Erol, Jäger, Hold, Ott ve Sihn, 2016, s. 13). Çünkü Endüstri 4.0 genel olarak yüksek düzeyde uzmanlık ile büyük sermaye ve yatırımlara bağlıdır (Kolberg ve Züehlke, 2015, s. 1872).

- Gelecekteki üretim sistemlerinin artan karmaşıklığı ile baş edebilecek kalifiye personelin bulunmasıyla ilgili zorluklar (Erol ve diğ., 2016, s. 13). Dijital teknolojiler üretim ortamlarında daha yaygın hale geldikçe, üretimdeki basit, manuel işler azalacak, çalışanların rolü değişecek ve iş karmaşıklığı artacaktır. Akıllı fabrikalarda gelecekteki bir çalışma ortamı, genellikle yaşam boyu öğrenme, kod yazma, kendi kendine karar alabilme veya çok yönlülük ile karakterize edilecektir. Bu nedenle

Endüstri 4.0'ın önündeki en büyük engel, yeni çalışma ortamına uyum sağlayacak işçinin problem çözme ve denetleme, kişisel sorumluluk ve bütünsel düşünebilme gibi yeterliliklere sahip olma zorunluluğudur (Adam ve diğ., 2018, s. 268).

- Endüstri 4.0 kavramının taşıdığı soyutluk ve uygulanmasındaki karmaşıklık (Erol ve diğ., 2016, s. 13). Pek çok şirket ve kuruluş ikilemlere maruz kalmaktadır. Ne sanayi 4.0 uygulaması ile çok uzun süre beklemek, ne de çok erken başlamak ve ölümcül hatalar yapmak istemektedirler.

- Daha önce yaşanan yıkıcı gelişmelerden dolayı, Endüstri 4.0'a da aşırı heyecanların ve yanılsamaların eşlik etmesi (Schmidt ve diğ., 2015) ve beklentilerin mevcut olandan daha fazla olması. Üretimin dijitalleşmesi kaçınılmaz olarak yüksek finansal ve teknolojik çabalara yol açacaktır. Bu tür çabaların doğal riski, Endüstri 4.0'ın "gök yüksek" vizyonunu atölyeye indiren pragmatik düşünürlere ve aktörlere ihtiyaç duymasıdır (Erol ve diğ., 2016, s. 15). Kavramın farklı bağlamlarda kullanılması, net bir tanımlamaya sahip olmaması, üstelik bu kavramın içerdiği aşırı iddialı pazarlama anlayışı Endüstri 4.0'ın yerinde kullanımını daha da zorlaştırmaktadır (Yılmaz, Aygün ve Tanrıkulu, 2017).

- Teknik ve ekonomik zorluklar açısından değerlendirildiğinde, artan kişiselleştirme ve esneklik sonucunda müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi, iş modellerini daha değişken hale getirip, heterojen pazarlar oluşturmakta ve iş modellerini değiştirmektedir. Siyasi ve yasal zorluklarla ilgili olarak, hükümetler büyük verilerin kullanımı için, özellikle de gizliliğin korunmasına ilişkin yasal parametreleri belirlemelidir. Diğer bir endişe, çalışma süreleri ve çalışanların güvenliği için çalışmaya ilişkin düzenlemelerin gözden geçirilmesi konusundadır. Süreç otomasyonu seviyesi arttıkça, çalışma karmaşıklığının artması, çalışanlarda daha yüksek eğitim seviyesine ihtiyaç duyulması ve bunu sağlamak için yeni eğitim programlarını gerektirmesi de Endüstri 4.0 ile ilgili zorluklar olarak görülmektedir (Erol ve diğ., 2016, s. 18). Ayrıca, bu yeni endüstriyel dönüşümün faydalarının yanlış yorumlanması veya teknolojilerinin uygun olmayan şekilde uyarlanması çalışan davranışları ve yönetim rutinleri üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle, yanlış yorumlamaları ve yanlış anlamaları azaltmak için Endüstri 4.0'ın uygulanmasını kolaylaştırmak ve rehberlik etmek için bir yol haritasına ve olgunluk modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda, dördüncü sanayi devriminden kaynaklanan bu tür teknolojileri yeni sosyo-teknik sistemlere entegre eden örgütsel araç ve yaklaşımlara ihtiyaç vardır (Tortorella ve Fettermann, 2017; Tortorella, Miorando, Caiado, Nascimento ve Staudacher, 2018).

- Bununla birlikte, ileri teknolojilerin benimsenmesinin gelişmekte olan ülkeler için daha zor olabileceği ileri sürülmektedir. Bilgi-iletişim altyapısı, kültür, eğitim düzeyi ve ekonomik ve politik istikrarsızlık gibi diğer faktörler de değer algısına ve bunun sonucunda ileri teknolojilere yapılan yatırımların seviyesine etki edebilir. Dolayısıyla, Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojiler literatür tarafından firmalar için faydalı olarak

sunulduğunda bile, gelişmekte olan ekonomilerin kendine has özellikleri göz önüne alınarak, şu önemli soru sorulmalıdır: gelişmekte olan ülkelerde üreticilerin Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojilerin sanayi performansına ilişkin yararları hakkındaki algıları nasıldır? Bu sorunun cevabı gelişmekte olan ülkelerdeki Endüstri 4.0 uygulamalarının benimsenmesi ve yayılması konusunda kilit öneme sahiptir. Bununla birlikte, Endüstri 4.0'ın yayılma ve kabul süreci yavaş olma eğilimindedir ve genellikle gelişmiş ülkelerden gelişmekte olan ülkelere doğru olmaktadır (Dalenogare ve diğ., 2018)

Günümüzde, Endüstri 4.0'ın potansiyel faydaları ile bu faydalardan yararlanmayı ve yeni teknolojik uygulamaların kullanımını etkileyen en önemli faktörlerin ne olduğu hala belirsizdir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 kullanım potansiyelleri hakkında ampirik bilgi sağlamayı amaçlayan bir çalışmada Endüstri 4.0'ın kullanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olan faktörleri tanımlamanın akademisyen ve uygulayıcılara kolaylık sağlayacağı belirtilmektedir (Schmidt vd., 2015). Bu faktörlerin arasında insan, makine, ürün, süreç ve işletmenin kendisi bulunmaktadır.

Tablo 1: Endüstri 4.0'daki Farklı Değer Yaratma Faktörleri

Ekipman – Donanım	Üretim ekipmanları, yüksek derecede otomatik tezgâhlar ve robotların uygulanmasıyla karakterize edilecektir. Ekipman, diğer değer yaratma faktörlerindeki değişimlere esnek bir şekilde adapte olabilir; Robotlar, ortak görevlerde işçilerle işbirliği içinde çalışacaktır.
İnsan	Üretimdeki mevcut işler büyük ölçüde otomasyona geçmektedir. Böylece işçi sayısı geçmiş zamanlara göre düşecektir. Kalan üretim işleri ise daha fazla bilgi gerektirmesinin yanı sıra daha kısa vadeli ve planlaması zor görevler içerecektir. İşçilerin giderek artan oranda otomatik ekipmanı izlemesi gerekecek ve işçiler ademi merkeziyetçi karar alma sürecine dahil edileceklerdir. Aynı zamanda çalışanlar uçtan uca mühendisliğin bir parçası olarak mühendislik faaliyetlerine daha fazla katılacaklardır.
Organizasyon	Üretim sistemindeki artan organizasyonel karmaşıklık, belli bir noktadan itibaren merkezi bir durum tarafından yönetilemez. Böylece karar verme, merkezi bir durumdan merkezi olmayan durumlara doğru kaydırılacaktır. Bağımsız aşamalar özerk bir şekilde karar verme için daha çok yerel bilgileri dikkate alacaktır. Kararın kendisi, işçiler tarafından veya yapay zeka alanındaki yöntemleri kullanarak ekipman tarafından alınacaktır.
Süreç	3D baskı olarak da bilinen eklemeli üretim teknolojileri, değer yaratma süreçlerinde artan oranda kullanılmaya başlanacaktır, çünkü eklemeli üretim maliyetleri son yıllarda hızla düşmektedir. Bu, daha karmaşık, daha güçlü ve daha hafif geometrilerin tasarlanmasının yanı sıra, daha yüksek miktarlarda ve daha büyük ölçeklerde eklemeli üretim yapılmasını sağlamaktadır.
Ürün	Ürünler, müşterinin bireysel ihtiyaçlarına göre parti büyüklüğünde üretilecektir. Ürünün bu kitlesel özelleştirmesi, müşteriyi değer zincirinde mümkün olan en erken zamanda birleştirir. Fiziksel ürün, yeni iş modellerinin bir parçası olarak müşteriye ürün sahipliği yerine işlevsellik ve erişim sunan yeni hizmetler ile birleştirilecektir.

Kaynak: Stock ve Seliger, 2016, s. 539

Endüstri 4.0 Kavramıyla İlişkili Kavramlar

Endüstri 4.0 için temeli oluşturan teknolojideki dokuz ilerlemenin çoğu zaten üretimde kullanılmaktadır. Bu anlamda Endüstri 4.0 zaten bildiğimiz ekonomik sistemi yeniden şekillendirmekte, bilgi ve üretim süreçleri arasında sorunsuz bir entegrasyon ve endüstriler arasındaki ayrımın çözülmesini desteklemektedir (Ciffolilli ve Muscio, 2018, s. 2324). Büyük veri ve veri analitiği, otonom robotlar, simülasyon, yatay ve dikey bütünleşme, nesnelerin interneti, siber güvenlik, bulut, eklemeli üretim ve arttırılmış gerçeklik bu yeni endüstriyel dijital dönüşümde sıklıkla bahsi geçen kavramlar arasındadır (Rüßmann ve diğ., 2015, s. 2). Bunların dışında kalan veri madenciliği yöntemleri, makine-makine etkileşimi, radyo frekans tanımlaması, yakın alan iletişimi teknolojisi gibi diğer teknolojik terimlerde Endüstri 4.0 terimiyle yakından ilgilidir (Wang ve diğ., 2017). Her durumda, Endüstri 4.0 kavramı, bulut bilişim, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve büyük veri analitiği gibi yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına dayanmaktadır. Bu teknolojiler, tüm sistem genelinde bilgi aktarımını iyileştirmekte, bu da değişen talebe göre verilerin gerçek zamanlı olarak kontrol ve operasyonların daha iyi adapte edilmesini sağlamaktadır (Moeuf ve diğ., 2017).

Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti kavramı, 1999 yılında bir İngiliz girişimci Kevin Ashton tarafından ortaya atıldı (Witkowski, 2017, s. 766). Bu kavram materyal dünyasının her yerde bulunan sensörlerle bilgisayarlarla iletişim kurduğu (veri alışverişine yönelik) bir sistemi tanımlamak için formüle edilmiştir. Neredeyse on yıl sonra, 2008 ve 2009 yıllarında, ağa bağlı cihazların sayısı, dünyada yaşayan insanların sayısını aştı. Dijital dönüşüm, günlük hayatımızın neredeyse iş ve serbest alanlardaki her yönünü etkilemektedir. İnsanlar yavaş yavaş dijital cihazlarla kuşatılmakta ve herkes sürekli olarak yeni teknolojilere bağlı ve çevrimiçi erişilebilir hizmetler kullanmaktadır (Biahmou ve diğ., 2016, s. 1). J'son & Partners danışmanlık şirketine göre, Nesnelerin İnterneti, hem küresel ölçekte hem de tek tek ülkeler ölçeğinde iş dünyasında teknolojik olarak en gelişmiş ve en hızlı büyüyen bir trend konumundadır. Bu yeni teknoloji, milyonlarca günlük cihazı internete bağlayarak çevrimiçi ve çevrimdışı dünyaları birleştirmekte, yeni olanaklar yaratmakta ve hükümet ve tüketicilere meydan okumaktadır (Shkurupskaya, 2016, s. 104).

Bu meydan okuma, "Her Şeyin İnterneti (Internet of Things - IoT)" olarak adlandırılan "Nesnelerin İnternetinin (Internet of Objects)" gerçek doğuşudur. Bu yaklaşımda, sadece nesneler değil, süreçler, veriler, insanlar ve hatta hayvanlar ya da atmosferik fenomenler için de bir sistem yaratılır ve değişken olarak ele alınabilecek her şey yer alır (Witkowski, 2017, s. 765). Chaouchi, Bourgeau ve Kirci'de (2013), nesnelerin interneti kavramını, içinde yer alan "internet" ve "şeyler" kelimelerinden oluştuğunu söyleyerek, oldukça etraflı bir şekilde tanımlamışlar ve "şeyler veya nesneleri" internetin içindeki bir dizi atom parçacıkları olarak belirtmişlerdir. Bu kavramın içinde binalar, makineler, endüstriyel tesisler, varlıklar, taşıtlar, nakliye birimleri, konteynerler, aygıtlar, insanlar ve hayvanlar gibi birçok öğe yer almaktadır.

Bu anlamda (IoT) Nesnelerin interneti, fiziksel nesnelerin interneti anlamına ek olarak insanların karşılıklı olarak etkileşimli biçimde paylaşım yaptığı, içerik oluşturduğu ve verileri hızlıca kullandığı ve bütün bunları aynı anda yapabildiği, nihai ürün ve hizmete değer katan sanal dünya anlamına da gelebilmektedir. Nesnelerin İnterneti, büyük veri ve veri analitiğine yardımcı olan bir araç olarak üretim yerleşim tasarımını da etkilemekte ve değiştirmektedir. Malzeme taşımadan, makineler arası mesafeye, kullanılan elektrik enerjisinden, alan düzenine kadar birçok faktörü bir arada ele alan bir çalışmada bir üretim yerleşim tasarımının nasıl olması gerektiğini ve verimli bir yerleşim tasarımından elde edilecek başta elektrik tasarrufu olmak üzere diğer birçok açıdan maliyet azaltıcı kazanımlar elde edilebileceği vurgulanmaktadır. Büyük ölçekli verilere (Big Data) dayalı bir fabrika yerleşim tasarımı günümüzün rekabetçi piyasasında işletmelere verimlilik ve etkinlik sağlamaktadır. Ürün taleplerindeki farklılıklar, değişen ürün karışımları ve ürünlerin bazı özelliklerinin eklenmesi veya silinmesi nedeniyle, üretim yeri yerleşiminin sağlam ve sürdürülebilir olması gerekmektedir. Sağlam ve sürdürülebilir bir endüstri düzeni tasarımı, varyasyonları idare edebilecek kapasitededir ve belirli bir zamanda ürünlerin kesin ve doğru bir şekilde üretilmesini sağlamak için Endüstri 4.0'a atılan ilk adım olarak görülmektedir. Kötü yerleşim tasarımı, ürünlerin imalatındaki hassasiyeti ve doğruluğu azaltmakta ve üretim süresini uzatabilmektedir (Kumar, Singh ve Lamba, 2018, s. 643). Birbirleriyle haberleşebilen makineler, alan tasarrufu sağlamakta ve bir üretim yerinde çok daha etkin bir yerleşim tasarımı oluşturabilmektedir. Nesnelerin interneti sayesinde farklı makineler arasında parçaları taşırken minimum elektrik enerjisi kullanan, çevre dostu bir düzen tasarlanırken, hem malzeme taşıma maliyetinden hem de elektrik enerjisi tüketimi (EEC) şeklinde temsil edilen enerji maliyetlerinden tasarruf edilebilmektedir.

Nesnelerin İnterneti dört önemli bileşenden oluşur (Flores ve diğ., 2018, s. 3):

1) Bağlantı: RFID teknolojisi veya Kablosuz Sensör Ağları (WSN'ler) ile sağlanan bağlantı

2) Yazılım: heterojen aygıtların birbirleriyle iletişim kurabildiği bir platform olarak hareket eden ve işletim sistemi ile veritabanı ve uygulamalar arasında köprü vazifesi gören yazılım

3) Bulut Bilişim: cihazlar arasında üretilen büyük verinin gerçek zamanlı olarak erişilmesini ve depolanmasını sağlayan önemli bir faktör olan bulut bilişim

4) Veri Analitiği: üretilen büyük miktarlardaki verinin analizine imkân veren büyük veri ve veri analitiği

IoT, her nesneyi gömülü sistemler yoluyla etkileşime sokmak suretiyle İnternetin yaygınlığını artırmakta, bu da insanlarla olduğu kadar diğer cihazlarla da iletişim kuran oldukça dağınık bir cihaz ağına yol açmaktadır. Temel teknolojilerdeki hızlı gelişmeler sayesinde IoT, yaşam kalitemizi yükseltmeyi vaat eden çok sayıda yeni uygulama için

muazzam fırsatlar sunmakta bu yüzden IoT son yıllarda dünyanın dört bir yanından araştırmacı ve uygulayıcılar tarafından büyük ilgi görmektedir (Xia, Yang, Wang ve Vinel, 2012, s. 1101). Nesnelerin İnterneti 80 yıl önce iletişim kurmak için ortaya çıkan ve "mekânsal örgütlenme maliyetini" azaltma eğiliminde olan telefon ve telgraf gibi değişikliklere benzetilmektedir. IoT'un tıpkı telefon ve telgrafta olduğu gibi coğrafi olarak dağılmış değer zincirlerinin yönetiminde temel değişikliklere yol açması beklenmektedir (Strange ve Zucchella, 2017, s. 3).

2014 yılında Zebra Technologies adına Forrester Danışmanlık tarafından Nesnelerin İnterneti ile ilgili yapılan araştırmaya göre (Witkowski, 2017, s. 767):

- Lojistik ve taşımacılık sektöründeki şirketlerin yaklaşık %90'ı, önümüzdeki yıl IoT çözümlerini zaten uygulamış veya uygulayacak.
- Ankete katılanların yarısından fazlası IoT uygulamalarının tedarik zincirini iyileştireceğini düşünüyor
- Ankete katılanların %40'ı IoT'un şirketlere güvenlik ve maliyet etkinliğini artırmalarında yardımcı olacağını umuyor
- Nesnelerin İnternetinin uygulanmasındaki kilit teknolojilerin Wi-Fi bağlantısı, güvenlik sensörleri, Yakın Alan İletişimi (NFC – Near Field Connection) olacağı varsayılmaktadır
- Katılımcıların yaklaşık %40'ı, IoT çözümlerinin uygulanmasının önündeki en büyük engel olarak, bilgilerin gizliliği ve güvenliği konusundaki endişeler olarak dile getirmiştir.
- Katılımcıların %38'i bu çözümlerin yüksek derecede karmaşıklığa işaret ettiğini ve yüksek uygulama riski içerdiğini göstermektedir

Büyük Veri ve Veri Analitiği

Uzun yıllar boyunca firmalar, üretim kayıtları, iç hesaplar ve pazar araştırması raporları gibi sınırlı sayıda geleneksel kaynaktan elde edilen verilere dayanarak iş kararları verdi. Ancak veriler artık, özellikle akıllı ürünlerden algılayıcı tarafından üretilen verileri ve arama motorlarından ve sosyal medya sitelerinden gelen verileri içeren (örneğin Google, Facebook, Twitter gibi) birçok kaynaktan elde edilmektedir ve bu, firmalara potansiyel olarak değerli bilgi kaynakları sağlamaktadır. Bilgi işlem gücündeki gelişmeler ve düşük veri depolama maliyetleri büyük verinin kullanımını ve analizini yaygınlaştırmıştır (Strange ve Zucchella, 2017, s. 4). Yöneticilerin de kampanyalarında giderek çok daha fazla çeşitte medya kullanması nedeniyle iletişim seçenekleri artmış ve "omnichannel marketing" olarak ifade edilen çok kanallı pazarlama iletişimi ortaya çıkmıştır. Ticari fuarlar, dijital kanallar, içerik reklamcılığı, web sitesi, müşteri yorumları ve geleneksel

reklamcılık seçenekleri arasında dağıtılan işletme kaynaklı iletişim harcamalarının 2017 yılına kadar 94 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. İnternet reklamcılığının (sadece yaklaşık 20 yıldır var olan bir ortam), örneğin, 2014 yılında harcamalarda 43 milyar dolara ulaştığı ve yıllık %18 oranında büyüdüğü gözlenmektedir (Patti, Hartley, van Dessel ve Baack, 2017, s. 352). Birbirine benzemeyen, heterojen kaynaklardan gelen veriler ve bu verilerin anlamlı şekilde işlenerek rekabet üstünlüğü sağlayacak bilgilere dönüştürülmesi büyük veri analitiği kapsamına girmektedir.

Büyük veri analitiği (big data analytics), verilerin geleneksel araçlardan daha gelişmiş bir seviyede analiz edilmesini mümkün kılar. Bu teknoloji ile birbiriyle uyumsuz çeşitli sistemlerde, veri tabanlarında ve web sitelerinde toplanan veriler, belirli bir şirket veya kişinin bulunduğu durumun net bir resmini vermek için anlamlı şekilde işlenir ve birleştirilir (Witkowski, 2017, s. 768). Büyük veri kavramı aslında nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, sensörler, çipler, yazılım ve donanımla yakından ilgilidir. Bilgi sistemleri, sensörler ve nesnelerin interneti teknolojilerini kullanarak, kullanıcı davranışlarıyla ilgili büyük veriler otomatik veya yarı otomatik olarak toplanabilir. Gerekli bilgiler, mülakat, çağrı merkezi aramaları, anketler, web site ziyaretleri, sanal oyunlar, kredi kartı ekstresi gibi çok sayıda farklı veri kaynağından gelebilmektedir. Üstel miktarda endüstriyel veri yukarıdaki kaynaklardan toplandığından, bu dijital varlıkları organize etmek ve ondan değerli bilgiler elde etmek için büyük veri analizlerinden yararlanılmaktadır (Li, Tan ve Chaudhry, 2019, s. 145). Siber-fiziksel sistem uygulamalarının bir sonucu olarak yüksek miktarda "ince taneli" verilerin toplanması tüketicilerin çok detay ve ayrıntı özellikleri hakkında üreticiye bir öngörü sağlamakta ve bu bilgiler onların satın alma davranışlarını yönlendirmede büyük önem taşımaktadır (Gorecky, Schmitt, Loskyll ve Züehlke, 2014, s. 289). Bu bağlamda siber-fiziksel sistemlerdeki teknoloji gelişimi ve büyük verilerle bunları Endüstri 4.0'da kaynak verimliliği sağlamak için uygulamada büyük bir potansiyel vardır. Bu verilerden yola çıkarak ürün ve hizmet tasarımları yapılabilir, yeni bir ürünün kullanıcı kabulünü arttırmak ve kullanıcı memnuniyetini sağlamak için bilgiye dayanan iç görüler ve yenilik stratejileri oluşturulabilir. Cam geri dönüşümü endüstrisinin dairesel ekonomide Endüstri 4.0'ı güçlendirecek akıllı üretim için kullanıcı deneyimine dayalı bir ürün tasarımı yaklaşımı geliştiren bir çalışma bunu kullanıcı verilerinden yola çıkarak büyük veri ve veri madenciliği teknikleri yardımıyla gerçekleştirmiştir (Lin, 2018).

Bilindiği gibi, bilgiyi üreten, yöneten, dağıtan ve tüketen şirketler pazarda eşi görülmemiş bir rekabet gücü kazanmakta, yüksek düzeyde verimlilik ve üretkenlik elde etmektedir. Bu nedenle veri ve analizler hayati öneme sahiptir. Bu alanda veri yönetimi, gelişmiş analiz ve tüketici bilgileri Büyük Verinin elde edilmesinde ve işletme için anlamlı bilgilere dönüştürülmesinde üç fonksiyonel alan olarak karşımıza çıkmaktadır (Vassileva, 2017, s. 49).

Endüstri 4.0, makineler arasında veri toplamayı ve analiz etmeyi mümkün kılarak, düşük maliyetle daha kaliteli ürünler üretmek için daha hızlı, daha esnek ve daha verimli süreçler sağlamaktadır. Bu da üretim verimliliğini artırmakta, ekonomiyi değiştirmekte, endüstriyel büyümeyi teşvik ederek ve işgücünün profilini değiştirerek sonuçta şirketlerin ve bölgelerin rekabet gücünü arttırmaktadır (Rüßmann vd., 2015, s. 1). Kalite, özellikler ve performansla ilgili müşteri beklentilerini karşılayan veya aşan ürünleri yansıtır. Küreselleşme ile birlikte şirketler, üstün kalitede ikame mallar, düşük fiyat ya da her ikisini birden sunan rakiplerin rekabeti nedeniyle tehdit altındadır (Knight, 2000, s. 20). Bu anlamda kaliteye müşteri gözünden bakabilmek ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamak hatta aşmak onların ne istediğini anlayabilmekten geçer. Büyük veri işletmelere pazardaki müşterileri hakkında derin bir içgörü sahibi olmalarına olanak sağlar. Böylece onlar hakkında alınan yeni stratejik ve taktiksel kararların doğru ve isabetli olması mümkün olur. McAfee ve Brynjolfsson (2012), her şirketin karar vermede veriye bağlı olmadığını, ancak analizlerde veriye dayalı olarak hareket eden işletmelerin finansal ve operasyonel konularda daha iyi sonuçlar sağladığını ve diğer şirketlere kıyasla ortalama %5 daha verimli olduğunu öne sürmektedir.

Ancak bu durum bireylerin mahremiyetinin yaygın olarak kullanılan büyük veri uygulamalarından dolayı tehdit altında olmasına yol açmakta ve bu da uluslararası ticaret için büyük bir risk oluşturmaktadır. Facebook'un neyi sevdiğimizi, Google'ın neye göz attığımızı, Twitter'ın aklımızda ne olduğunu bilmesi ve telekom servis sağlayıcılarının nerede olduğumuzu ve kimlerle bağlantı kurduğumuzu bilmesi "siber güvenlik" kavramını doğurmaktadır. Heterojen kaynaklardan müşteriler, alıcılar, kullanıcılar hakkında toplanan veriler onların ailelerinin ve arkadaşlarının bildiklerinden çok daha fazlasını oluşturmaktadır. Aynı zamanda ticari ve ticari olmayan işletmelerin milyonlarca yerleşik sensöre ve iletişim cihazına bağlanması siber güvenlik konusunda büyük bir endişeye yol açmakta ve kötü niyetli bilgisayar korsanları için bir giriş noktası olmaktadır (Strange ve Zucchella, 2017).

Endüstri 4.0 bağlamında, toplanan verilerin türü ve miktarı, sensör teknolojisindeki ilerlemeler ve bilgisayar kapasiteleri içeren ürünler nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. Bu, veri oluşturmanın çeşitliliği, hacmi ve hızı üzerinde büyük bir artış anlamına gelmektedir. Eskiden sıcaklık, ışık gibi basit türde veriler toplanabilirken, bugün resimler, görüntüler, internet tıklamaları, gerçek zamanlı videolar ve ekrana bakma süresi gibi daha çeşitli ve büyük veri türleri toplanabilmektedir (Schmidt vd., 2015). Üretim ekipmanı ve sistemleri ile kurumsal ve müşteri yönetimi sistemleri gibi birçok farklı ve heterojen kaynaklardan verilerin toplanması ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, gerçek zamanlı karar vermeyi desteklemekte ve kararların sezgisel değil verilere dayalı olarak alınmasını sağlamaktadır (Rüßmann vd., 2015, s. 3).

Endüstriyel Robotlar/Robotik Sistemler

Birçok sektörde üreticiler uzun süredir karmaşık görevlerin üstesinden gelmek için robotlar kullandılar, ancak robotlar daha fazla fayda sağlamak ve hareket kabiliyetlerini arttırmak için sürekli olarak geliştirilmekte, daha özerk, esnek ve birbiriyle iletişim kurabilir hale gelmektedir. Birlikte çalışabilirlik kuramına uygun olarak geliştirilen robotlar, sonunda birbirleriyle etkileşime girecek, insanlarla yan yana güvenle çalışacak ve onlardan öğrenecek seviyeye ulaştılar. Bu robotlar, günümüzde imalatta kullanılanlardan daha az maliyetli ve daha fazla yetenek aralığına sahiptir. Örneğin, Avrupalı bir robotik ekipman üreticisi olan Kuka, birbiriyle etkileşime giren otonom robotlar üretmiştir. Bu robotlar birbirine bağlanır, böylece birlikte çalışabilirler ve eylemlerini otomatik olarak sıradaki bitmemiş ürüne uyacak şekilde ayarlayabilirler. İnsanlarla yakın işbirliğini sağlayacak olan üst seviye sensörler ve kontrol üniteleridir. Benzer şekilde, endüstriyel robot tedarikçisi ABB, YuMi adlı, özellikle tüketici elektroniği gibi ürünleri insanlarla birlikte monte etmek için tasarlanan iki kollu bir robotu üretti (Rüßmann vd., 2015). Robotların ve robotik sistemlerin bu denli yaygın kullanımın iki sebebi bulunmaktadır. Birincisi, son 10 yılda hem donanımın hem de yazılımın maliyeti %20'den fazla düşerken, robotik sistemlerin performansı yıllık %5 oranında artmıştır. Maliyetlerin önümüzdeki on yılda da benzer miktarda düşmesi öngörülmektedir. Sonuç olarak, robotik sistemler hızlı bir şekilde birçok yüksek ücretli ekonomide insan emeğine uygulanabilir bir ekonomik alternatif haline gelmektedir. İkincisi, birçok geleneksel robotik sistemin teknik yetenekleri sınırlıdır. Ancak endüstriyel robotlar daha çok yönlü ve hareketli olarak geliştirilmekte, daha karmaşık/hassas işler yapabilmekte ve daha az yapılandırılmış ortamlarda çalışabilmektedir. Ayrıca en gelişmiş robotlar, üretim sisteminin diğer bölümlerine geri bildirim sağlayabilecek ve onlardan bilgi alabilecek kadar akıllıdır (Strange ve Zucchella, 2017, s. 5)

3B Yazıcı (Eklemeli Üretim)

Ürün geliştirme, çeşitli endüstrilerde uzun vadeli karlılık için yaygın ve kritiktir (Griffin ve Hauser, 1996). Dördüncü Endüstri Devriminin başlaması ve akıllı fabrika ortamını oluşturma çabalarının artmasıyla birlikte ürün geliştirmede önemli bir dönüşüm yaşanmaktadır. Ürünler giderek daha karmaşık hale gelmekte, küresel rekabet ve fiyat baskısı artmakta, müşteri gereksinimleri gittikçe bireyselleşmekte ve karşılanması zorlaşmaktadır (Rauch ve diğ., 2016, s. 26). Witkowski, yeniliği her alanda ilerleme ve modernite ile eş anlamlı olarak görmektedir. Modernitenin bir işareti ise düşünme şeklidir. Yenilik kavramının birçok tanımı vardır, ancak bunların hepsi yeniliğin bir süreç olduğunu ve kısa vadede meydana gelen bir şey olmadığını vurgulamaktadır. Bu anlamda Witkowski (2017, s. 765) yenilik ve zamanı ana rekabet avantajları olarak belirtmektedir. Yeniliği üretmekten ziyade düşünmek daha önemlidir. Çünkü üretim birkaç makine ve tesis imkânıyla gerçekleşebilecek bir durumdur. Bu yüzden Endüstri 4.0 ve beraberinde gelen teknolojik ve dijital gelişmeler asla birkaç teknik yeniliğe indirgenemez. Sosyal

ve kültürel çevremizi de büsbütün saran ve etkileyen bir kavram olarak Endüstri 4.0 hayatın her alanında potansiyel gücünü göstermektedir. Ungerman ve arkadaşları (2018) bu devrimin beklenen etkilerinin tüm toplumu etkileyeceğini öne sürmektedir. Benzer şekilde Ślusarczyk de (2018) dördüncü sanayi devriminin, öncekilerden farklı olduğunu ve yaşamın tüm alanlarıyla ilgili olduğunu vurgulamaktadır. Bu anlamda modern gelişmiş üretim sistemlerinin gelecekteki yaşamlarımız üzerinde büyük etkileri olacağı açıktır (Zhong ve diğ., 2017, s. 619). Ancak yeni endüstriyel devrimle ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, birçoğunun teknolojiye odaklandığını ve Endüstri 4.0 kavramının baskın olan teknolojik yönüne vurgu yaptığını görmekteyiz.

Eklemeli üretimin sağladığı avantajlar (Strange ve Zucchella, 2017, s. 6):

- Standart bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı dünyanın herhangi bir yerinde ürünler tasarlamak için gerekli becerilere sahip herkes tarafından kolayca kullanılabilir ve ardından tasarlanan şeyleri üç boyutlu yazıcı kullanarak üretebilir
- Üç Boyutlu üretim, çok küçük partilerin kitlesel üretim maliyetleriyle eşdeğer üretim yapılmasına olanak sağlar
- Üç Boyutlu üretimde her ürün son kullanıcının gereksinimlerini karşılayacak şekilde özelleştirilebilir
- Üç Boyutlu üretim, karmaşık ürünlerin nispeten kolay üretimine izin verir ve birkaç üretim/montaj aşaması konsolide edildiğinden (birleştirildiğinden) genel üretim süresini kısaltabilir
- Geleneksel üretim süreçleri kayda değer miktarda atık üretirken eklemeli üretimde atık miktarı yok denecek kadar azdır veya hiç yoktur ve ürünlerin daha az malzeme kullanması ve dolayısıyla daha hafif ve / veya daha güçlü olması için tasarım optimize edilebilir.
- Son olarak - ve özellikle uluslararası iş bağlamında - bilgisayar destekli tasarım yazılımı tarafından tasarlanan ürünler prensip olarak uyumlu bir üç boyutlu yazıcı oldukça dünyanın herhangi bir yerinde üretilebilir. Üretimin merkezileştirilmesine gerek yoktur. Üretim son kullanıcıya çok daha yakın olarak gerçekleştirilebilir.
- Eklemeli üretimde hammaddelerin çoğu birden fazla tedarikçiden temin edilebilir ve çoğu ülkede tedarik zinciri riski en aza indirgenir.

Simülasyon

Mühendislik aşamasında, ürün, malzeme ve üretim süreçlerinin 3-B simülasyonları hâlihazırda kullanılmaktadır ancak gelecekte, simülasyonlar fabrika işlemlerinde de daha yaygın olarak kullanılabilecektir. Bu simülasyonlar, fiziksel dünyayı makineleri,

ürünleri ve insanları içerebilecek sanal bir modelde yansıtmak için gerçek zamanlı verilerden yararlanacak, böylece makine kurulum zamanlarını azaltma ve kaliteyi artırmaları sağlanacaktır. Örneğin, Siemens ve bir Alman takım tezgâhı satıcısı, fiziksel makineden veri kullanarak parçaların işlenmesini simüle edebilen sanal bir makine geliştirdi. Bu, gerçek işleme prosesi için kurulum süresini %80'e kadar azaltmıştır (Rüßmann vd., 2015).

Yapay Zekâ

Yapay zekâ (YZ) terimini tanımlamak zordur ve uzun yıllardır tartışılmaktadır. Yapay zekâ, normal olarak insan zekâsını gerektiren ve insan davranışını taklit eden bilgisayar yazılımı geliştirilmesini ifade eder. YZ teknolojisi dört geniş kategoriye ayrılabilir: Yapay öğrenme (ML – machine learning), doğal dil işleme (NLP – natural language processing), görüntü işleme ve konuşma işleme. Son yıllarda, derin öğrenme (DL –Deep learning) dünya çapında dikkat çekmiştir ve yapay öğrenme için bir alt alandır (Lundin ve Eriksson, 2016, s. 6). "Yapay zekâ" bazı uzmanlara göre bir tehdidi ve diğerlerine göre ise yeni bir evrim şansını gösterir. Bazıları için bu hayal gücünün bir ürünü, bazıları için ise sadece bir zaman meselesidir. Sonuç olarak, bu konunun bugün çok önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Zekâ nedir? sorusundan başlamak, yapay zekâyı daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Terimin farklı anlayışları vardır ve genellikle akıllı davranışın zihnin kontrollü kullanımına bağlı olduğu varsayılır. Şimdiye kadar bilgiyi alma, bu bilgiyi işleme ve anlamlı bir çıktıya dönüştürme biyolojik bir biçime sahipti – yani insanlara ait bir durumdu – Bilgisayar, duyguları tanıma ve onları gerçek durumlara yerleştirme yeteneğine sahip değildi. Dolayısıyla, insan zekâsını oluşturan bazı alt bileşenleri bir sisteme dönüştürmek neredeyse imkânsız görünmekteydi (Tohănean, 2018, s. 84-85). Gelişen teknolojiyle beraber YZ, konuşma tanıma, tümdengelim, girişim, yaratıcı davranış, kişisel deneyimlerden öğrenme yeteneği gibi bilgisayar sistemlerinde bazı insan zekâlarının çoğaltılmasıyla ilgilenen bir bilgisayar bilimi dalı ve daha çok bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu araştırma alanı eksik bilgilerden sonuç çıkarma, duygulara cevap verebilme, standart hazır yanıtlar yerine daha kişiselleştirilmiş ve insan kabiliyetlerine çok yakın hareket edebilme gibi özellikler sergilemektedir.

Yapay zekâ (YZ) 2015'teki en güçlü gelişim alanlarından biriydi ve bu eğilim sonraki yıllarda da devam edecek gibi görünmektedir. 2015 sonunda, Toyota ve Tesla'nın kurucusu Elon Musk'un her birinin yapay zekâ araştırma ve geliştirmeye neredeyse aynı anda bir milyar ABD doları tutarında yatırım yaptıklarını açıkladığı göz önüne alındığında konunun önemi daha da ortaya çıkmaktadır (Hofmann, Neukart ve Bäck, 2017, s. 1). Yapay Zekâ, tahminler, öneriler ve kararlar almak için çeşitli verileri işleyerek makine zekâsı ve insani düşünme yeteneğini birlikte kullanan bir teknolojidir. Yapay zekâ teknolojisi, çeşitli teknolojilerin, algoritmaların ve yaklaşımların birleşimidir (Lundin ve Eriksson, 2016, s. 4).

Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik temelli sistemler şu anda başlangıç aşamasında olsa da gelecekte şirketler, çalışanlara karar alma ve çalışma prosedürlerini geliştirmek için gerçek zamanlı bilgi sağlamada artırılmış gerçeklikten daha geniş bir şekilde faydalanacaktır. Örneğin, çalışanlar, tamir gerektiren gerçek sisteme bakarken belirli bir parçanın nasıl değiştirileceğine dair onarım talimatları alabilecek, bu bilgiler, artırılmış gerçeklik gözlükleri gibi cihazlar kullanılarak doğrudan işçilerin görüş alanında gösterilebilecektir. Arttırılmış gerçekliğin uygulanacağı başka bir alan ise sanal eğitimdir. Siemens, tesis personelini acil durumlarla başa çıkabilmeleri konusunda eğitmek için artırılmış gerçeklik gözlükleriyle gerçekçi, veri tabanlı üç boyutlu bir sistem kullanan Comos yazılımı için sanal bir tesis operatörü eğitim modülü geliştirdi. Bu sanal dünyada, operatörler bir siber sunum üzerine tıklayarak makinelerle etkileşime girebilmekte, ayrıca parametreleri değiştirebilmekte ve işletme verilerini ve bakım talimatlarını alabilmektedir (Rüßmann ve diğ., 2015, s. 5). Endüstri 4.0'ın gelişimiyle birlikte, fabrika ve atölyelerdeki çalışanlar için değişen görevler ve talepler ortaya çıkacaktır. Artırılmış gerçeklik uygulaması ile çalışanlar çok daha detay ve ince işçilik gerektiren işlemlere anında müdahale edebilecek ve kendi iş başarılarını, verimliliklerini arttırarak kendilerini gerçekleştirebilecektir. Bu da onlara iş ortamında karar verici rolünü üstlenmelerini sağlayacaktır. Teknolojik destek sayesinde, çalışanların tüm potansiyellerini gerçekleştirebilecekleri ve stratejik karar vericilerin rolünü üstlenerek, esnek birer sorun çözücüye dönüşecekleri literatürde yaygın olarak vurgulanmaktadır (Gorecky ve diğ., 2014, s. 289)

Siber-Fiziksel Sistemler

Siber-fiziksel sistemler, akıllı makineler, depolama sistemleri, özerklik ve her türlü kaynakla bilgi alışverişinde bulunabilecek, karar verebilecek ve harekete geçebilecek ve birbirlerini bağımsız olarak kontrol edebilecek üretim işlemlerini içerir. Bu vizyona ulaşmak için, hem gerçek (fiziksel) hem de sanal (dijital-siber) üretim dünyalarını tüm boyutlarda (mekânsal ve zamansal) yüksek düzeyde hassasiyetle yakalamak, analiz etmek ve etkileşimde bulunmak gerekir (Posada ve diğ., 2015, s. 27). Gerçek makinelerin sanal dünyayla bütünleşmesi olarak görülen bu sistemlerde heterojen makinelerden – kaynaklardan – gelen bilgilerin üretim sistemiyle ilgili çok detay ve ayrıntı özellikleri içermektedir. Her bir bilginin üretim sisteminin izlenmesi ve kontrol edilmesinde, ayrıca kullanıcı tarafından mevcut üretim süreçlerinden elde edilen verilerin kolayca anlaşılabilir hale getirilmesinde ve görselleştirilmesinde önem taşıdığı belirtilmektedir. İnsan–makine etkileşiminin ele alındığı bir makalede cihazların Endüstri 4.0 uygulamalarıyla sezgisel olarak çalıştığı ve geleneksel endüstriyel kullanıcı ara yüzlerinde olduğu gibi sistemin mekanik olarak (klavye, fare, dokunmatik ekran) girilen bir komutu aldığı ve cevabının görsel olarak (bir ekranda) görüntülendiği tek modlu etkileşimlere benzemediği vurgulanmaktadır (Gorecky ve diğ., 2014, s. 290).

Endüstri 4.0 esasında hem ürünleri hem de süreçleri kucaklayan çeşitli teknolojik gelişmelerin çarpışmasıdır. Bu bağlamda dijital ve fiziksel süreçler birbirleriyle etkileşmekte ve coğrafi ve örgütsel sınırlar aşılmaktadır. Endüstri 4.0, dijitalin fiziksel iş akışlarıyla birleşmesini tanımlayan Siber fiziksel sistemler ile ilgilidir. Üretimde, bu fiziksel üretim adımlarına bilgisayar tabanlı süreçler eşlik etmektedir. Siber fiziksel sistemler, bilgi işlem ve depolama kapasitesini, mekanik ve elektronik cihazları içerir ve bir iletişim aracı olarak internete dayanır (Schmidt ve diğ., 2015).

Bulut Teknolojisi

Bir hesaplama aracı olan Bulut Bilişim (Cloud computing), bilgi teknolojileri endüstrisinin büyük bir bölümünü dönüştürme, yazılımı bir hizmet olarak daha çekici hale getirme ve bilgi teknolojileri donanımının tasarlanma ve satın alınma şeklini yeniden biçimlendirme potansiyeline sahiptir. Bulut terimlerini açığa kavuşturmak, bulut ve konvansiyonel hesaplama arasındaki karşılaştırmaları yapmak, bulut hesaplamanın önündeki teknik ve teknik olmayan engelleri ve fırsatları tespit etmek amacıyla yapılan bir çalışmada ürün ve hizmetleri konusunda yenilikçi fikirlere sahip işletmelerin bulut sayesinde büyük sermaye harcamaları yapmalarına gerek kalmadığı vurgulanmaktadır (Armbrust ve diğ., 2010, s. 50). Bulut teknolojisi en düşük seviyede yönetim gücü harcayarak veya servis sağlayıcıları ile iletişime geçerek hızlı bir şekilde ücretlendirilen, serbest bırakılan, anlık ağ erişimini sağlayan bir modeldir (Mell ve Grance, 2011).

Bulut bilişim, son zamanlarda Internet üzerinden hizmet sunmak ve dağıtmak için yeni bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. İşletmeler bu yeni paradigmadan faydalanmak için iş modellerini yeniden şekillendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda bulut bilgi işlem, hem İnternet üzerinden servis olarak sunulan uygulamaları, hem de bu hizmetleri sağlayan veri merkezlerinde bulunan donanım ve sistem yazılımlarını ifade eder. Web teknolojisinin ikinci büyük dalgası olarak adlandırılan ve gelecekte iş dünyasına yön vermesi beklenen en önemli kavramlardan biri olan "Bulut Bilişim", kısaca bilişim teknolojilerinin dış kaynak olarak sunulması hizmetidir. İnternetin başarısı ile bilgi işlem kaynakları her zamankinden daha ucuz, daha güçlü ve her yerde hazır hale gelmiştir. Bu teknolojik eğilim, bulut bilişim adı verilen yeni bir bilgisayar modelinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır; kaynakların (örneğin CPU ve depolama), kullanıcılar tarafından İnternet üzerinden talep edilebilecek şekilde kiralanıp serbest bırakılabilen genel araçlar olarak tanımlanabilir (Zhang, Chen ve Boutaba, 2010, s. 7). Bulut bilgi işlem ve internetin yükselmesinden önce, veriler üretim sırasında toplanmaktaydı. Ancak bu veriler üretim sistemlerinde hapsoluyor ve depolama kapasitesinin yetersizliği nedeniyle bir süre sonra silinmek zorunda kalınıyordu. Günümüzde ise, tümleşik ağ kullanımı ve ürünlerin İnternet verilerine entegrasyonu, verilerin toplanması için çok büyük fırsatlar yaratmaktadır. Tek veri noktaları veya kısa aralıklar yerine, sürekli bir veri akışı mümkün olabilmektedir ve bu mevcut olan büyük miktardaki veri, üretimi sürekli olarak analiz etmek ve optimize etmek için kullanılmaktadır (Schmidt ve diğ., 2015).

Şirketler zaten bazı kurumsal ve analitik uygulamaları için bulut tabanlı yazılım kullanmaktadır ancak Endüstri 4.0 ile birlikte daha fazla üretimle ilgili işletme, siteler ve şirket sınırları arasında daha fazla veri paylaşımı gerçekleşecektir. Aynı zamanda, bulut teknolojilerinin performansı da artarak, sadece birkaç milisaniyelik cevap verme sürelerine ulaşacak. Sonuç olarak, makine verileri ve işlevselliği giderek daha fazla buluta dağıtılacak ve üretim sistemleri için daha fazla veriye dayalı hizmetler sağlanacaktır. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın bir öğesi olan bulut bilişim, makineler arasında veri toplamayı ve analiz etmeyi mümkün kılarak, düşük maliyetle daha kaliteli ürünler üretmek için daha hızlı, daha esnek ve daha verimli süreçler sağlamayı mümkün kılacaktır (Rüßmann ve diğ., 2015, s. 1,4). Bulut bilişim, kullanıcıların tedarik için önceden planlama yapma gereksinimini ortadan kaldırdığından ve işletmelerin küçükten başlamasını, ağ erişimi olan her yerde hizmet alabilmesini, "kullandıkça öde" modeline sahip olması ile ölçeklenebilir özellikte olması ve yalnızca hizmet talebinde bir artış olduğunda kaynakları arttırmasını sağladığı için işletme sahipleri için çekicidir. Bütün bu özellikler birlikte değerlendirildiğinde bulut bilişim, işletme sahiplerine çekici gelen aşağıdaki özellikleri sunar (Zhang ve diğ., 2010, s. 7-8):

Önceden yatırıma gerek yoktur: Bulut bilişim işletmelere uygun fiyatlandırma modelini kullanır. Bir servis sağlayıcısının bulut bilişimden faydalanmaya başlamak için altyapı yatırımı yapmasına gerek yoktur. Sunulan bulut hizmetinden kaynakları kendi gereksinimlerine göre kiralar ve kullanım ücretini öder.

İşletme maliyetini düşürür: Bir bulut ortamındaki kaynaklar hızla talep üzerine tahsis edilebilir. Bu nedenle, bir servis sağlayıcının pik yüke göre kapasite sağlaması artık gerekli değildir. Bu, servis talebi düşük olduğunda işletme maliyetlerinden tasarruf etmek için kaynaklar serbest bırakılabileceğinden büyük tasarruf sağlar.

Yüksek oranda ölçeklenebilir: Altyapı sağlayıcıları, veri merkezlerinden büyük miktarda kaynak toplar ve bunları kolayca erişilebilir hale getirir. Yalnız belli zamanlarda meydana gelen yoğunluk için büyük altyapı yatırımları yapmak mantıklı değildir. Kaynakların ihtiyaç duyulduğu dönemlerde kullanılıp, ihtiyaçlar sona erdiğinde serbest bırakılması maliyet ve iş gücü açısından kazançlı bir çözümdür. Bulut bilişim kullanıcılara bu açıdan faydalı çözümler sunan ölçeklenebilir bir yapıdır.

Kolay erişim sağlar: Bulutta barındırılan servisler genellikle web tabanlıdır. Bu nedenle, İnternet bağlantısı olan çeşitli cihazlardan kolayca erişilebilirler. Bu aygıtlar yalnızca masaüstü ve dizüstü bilgisayarları değil, cep telefonları ve tablet gibi cihazları da içerir.

İş risklerini ve bakım giderlerini azaltır: Hizmet altyapısını bulutlara dış kaynak vererek, bir hizmet sağlayıcı iş risklerini (donanım arızaları gibi) genellikle daha iyi uzmanlığa sahip olan ve bu riskleri yönetmek için daha iyi donanımlı altyapı sağlayıcılarına kaydırır. Ek olarak, bir servis sağlayıcı donanım bakımını ve personel eğitim maliyetlerini de bu yolla azaltabilir.

Yatay – Dikey Bütünleşme

Yatay entegrasyon (değer zinciri) - tedarik zinciri, geliştirme ve üretim, sevkiyat ve dağıtım ağına kadar kuruluştaki tüm aktivitelerin, her şeyin tam bilgisayar entegrasyonunun sağlanmasıdır. Dikey entegrasyon - en yüksek seviyede gerçek zamanlı makine kontrolünden (on milisaniyedeki cevaplarla) üretim ve ERP sistemlerinin planlanması yoluyla en üst düzeyde karar verme sürecine kadar dijital bütünleşmeyi ifade etmektedir (Ungerman ve diğ., 2018, s. 135). Günümüzde bilgi teknolojileri hala fabrika ve işletme sınırları içerisinde kısıtlı kalmaktadır. Teknik ve ekonomik açıdan bakıldığında, uçtan uca dijital entegrasyon, akıllı fabrikaları gerçekleştirmenin kritik bir unsurudur. Bu bütünleşme, bir üretim şirketinin her seviyesinin müşterileri, tedarikçileri ve diğer harici katılımcı taraflarla küresel bir bilgi sistemi aracılığıyla birbirine bağlanmasını sağlayacaktır. Esnek, uçtan uca entegrasyon potansiyeli çok büyüktür. Mevcut bütünleşik mühendislik sistemlerinin aksine, bu entegrasyon, tasarım, konfigürasyon, sipariş, planlama, üretim ve işletme aşamasında müşteriye özgü bireysel kriterleri karşılamaktadır. Örneğin internetten satış yapan bireysel ve kurumsal marka ve işletmelerin ticari başarısı yalnızca ürün ve üretim kalitelerine bağlı olmamaktadır. Aynı zamanda kargo, tedarik, ambalajlama, depolama, baskı-matbaa, çağrı merkezi gibi birçok yatay düzlemdeki farklı işletmelerin ortaklaşa bir değer oluşturacak şekilde birbiriyle iletişim halinde olmalarını gerektirir (Mazak ve Huemer, 2015).

Akıllı/Karanlık Fabrikalar

Akıllı kavramı, Endüstri 4.0'da önemli bir rol oynamaktadır. Tipik kaynaklar akıllı nesnelere dönüştürülmekte, böylece akıllı bir ortamda algılamaları, hareket etmeleri ve davranmaları sağlanmaktadır. Akıllı üretim, dinamik ve küresel bir pazara hitap etmek için esnek, haberleşebilen ve yeniden yapılandırılabilir üretim süreçleri elde etmek için gelişmiş bilgi ve üretim teknolojilerini kullanır. Bir Alman stratejik girişimi olan Endüstri 4.0, üretim teknolojilerinin siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti ve bulut bilişim tarafından geliştirildiği ve dönüştürüldüğü akıllı fabrikalar yaratmayı hedeflemektedir (Zhong ve diğ., 2017, s. 616). Giderek daha uygun fiyatlı donanım ve yazılım çözümleri, Endüstri 4.0 tarafından öngörülen akıllı ve birbirine bağlı fabrikaya geçişi hızlandırmaktadır. Kitlesel üretim ile aynı maliyette özelleştirilmiş ürünler üretme vaadiyle (Wang, 2016), Endüstri 4.0 hem akademi hem de sanayi sektöründe popülerlik kazanmıştır. Dünya çapındaki şirketler, ortaya çıkan bu teknoloji tabanlı üretim paradigmasından nasıl yararlanabileceklerini araştırmaya ciddi miktarda yatırım yapmaktadır (Buer ve diğ., 2018). Akıllı üretim, cihazların veya makinelerin geçmiş deneyimler ve öğrenme kapasitelerine dayanarak farklı durumlara ve gereksinimlere yanıt olarak davranışlarını değiştirebilmelerini sağlamak için yukarıda sözü edilen teknolojileri gerektirmektedir. Bu teknolojiler, üretim sistemleri ile doğrudan iletişime olanak sağlayarak, sorunların çözülmesine ve zamanında alınacak uyarlayıcı kararlara izin vermektedir. Bu anlamda akıllı üretime benzer kavramlar arasında bulut

üretimi ve IoT özellikli üretim sayılabilir. Dördüncü devrim olarak bilinen ve Alman Federal Hükümeti tarafından 2011 yılında Hannover Messe'de ilan edilen Endüstri 4.0 kavramı Akıllı Fabrika terimiyle eşanlamlı olarak kullanılmaktadır. Her ikisi de, makinelerle ve birbirleriyle iletişim kuran ve üretim boyunca özerk bir şekilde bileşenler sayesinde kendiliğinden organize olabilen, merkezi olmayan, ağ bağlantılı bir üretimi tanımlamaktadır. Günümüzde Endüstri 4.0 yalnızca üretimi değil aynı zamanda tüm yaşam döngüsünü ve aşamalarını da kapsamaktadır. Endüstri 4.0 ürünleri her zaman tamamen yeni değildir, bazen mevcut ürünler sağlanan bir bilgi ile yeni ve farklı bir özelliğe kavuşabilir. Bu da onların "akıllı" olma yönüne vurgu yapmaktadır (Scheidel, Mozgova ve Lachmayer, 2017).

Akıllı ürünlerin üretildiği akıllı fabrikalarda ürünlerin geliştirilen modelleri için teknik kalıtım (technical inheritage) tabiri kullanılmaktadır. Ömrünü tamamlayan ürünler geleneksel üretim modelinde olduğu gibi hurdaya çıkmamakta, ürün yaşam döngüsünü tamamlasa bile kullanıcısından aldığı bilgiyi üreticiye devamlı olarak aktarmakta ve ürün veri yönetimine kaynak oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 ile yaşam süreleri boyunca, ürünlerin kendileri ve çevreleri hakkında bilgi vermesi sağlanır. Bu ürün bilgileri, Teknik Kalıtım ve Teknik Miras yoluyla yeni bir ürün neslinin geliştirilmesi için kullanılır. Teknik Kalıtım, bir araya getirilmiş ve doğrulanmış bilgilerin ürünün yaşam döngüsünden aktarılması ve bunun bir sonraki ürün nesline aktarılması olarak tanımlanır (Scheidel ve diğ., 2017). Bir nesiller arası gelişme için ilerleme dört aşamaya ayrılmıştır. İlk önce, ölüme ihtiyaç duyulan yaşam döngüsü bilgisi tanımlanmalıdır. İkinci olarak, izleme stratejisinin uygulanması gerekmektedir. Üçüncüsü, bir veri madenciliği yöntemi gerçekleştirilmeli ve son olarak bilginin ürün tasarım aşamasına geri aktarılması gerekmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Önceleri Almanya'da başlayan sonra bütün dünya ülkeleri üzerinde hızla yayılan ve yalnızca üretim sistemleri için değil aynı zamanda hükümetlerin gelecek politikaları arasında da kendine yer bulan Endüstri 4.0, birkaç teknolojik yenilikle açıklanamayacak kadar önemli bir gelişme sayılmaktadır. Bilginin elde edilmesi, dağıtımı, işlenmesi, anlamlı ve kullanılabilir hale getirilmesi, gelişen bu yeni teknolojiler sayesinde olabilmektedir. Hayatımızın irili ufaklı bütün aşamalarında yer almaya başlayan bu kavram, çevre, sağlık, hukuk, e-ticaret, reklam ve pazarlama, üretim, finans, insan kaynakları ve hatta hükümet düzeyinde uygulamalar ile de ilgili olup, bu başlıkları yakından ilgilendirmektedir. Birkaç yıla kadar ülkelerin anayasalarına robot hakları, robotların çalışma şekilleri ve şartlarına dair yasal düzenlemeler eklendiğinde veya kapımızı çalıp bize kargo getirenin insan değilde otonom olarak hareket eden bir robot olduğunu gördüğümüzde, çocuklarımızın kendi oyuncaklarını evde kendileri üretmeye başladığını ve karanlık fabrikaların insan müdahalesi olmaksızın tamamen otonom şekilde çalışmaya başladığını gözlemlediğimizde bu kavramın hayatımız için ne denli fırsatlar yarattığını daha net olarak göreceğiz. Netflix aynı film için farklı izleyicilerine farklı film afişleri ve farklı film fragmanları sunabilmektedir. Aynı zamanda izleyicilerinin

hangi sahneleri durdurup yeniden izlediklerini ve hangi film sahnelerini atladıklarını analiz ederek onların davranış ve alışkanlıklarını sayısal olarak ölçebilmektedir. Bankalar ise sınıflama, kümeleme, veri görselleştirme, karar ağaçları, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, değişim ve sapma analizi, tahminleyici modelleme, sepet analizi ve birliktelik kuralları gibi ileri düzey veri analitiği yöntemleri sayesinde müşterilerinin davranışlarını yönetebilmekte ve bunları kısa, orta ve uzun dönemli kararlar verirken kullanabilmektedir. Benzer şekilde L'Oreal Las Vegas'taki 2017 Tüketici Elektroniği fuarında akıllı bir saç fırçası tanıtımını yaptı. Bu fırçanın, saç kalitesini ve kırılmasını algılayan sensörleri vardı ve bu verileri bir uygulamaya iletebilmekte ve kullanıcı için tedaviler önerebilmekteydi. Muhakkak ki bütün gelişen yeni teknolojiler beraberinde güvenlik problemlerini ve mahremiyet olgusunu gündeme getirecektir. Ancak yine de heyecan verici bu yeni dördüncü teknoloji dalgasının ülkelerin gelişmişlik düzeylerini etkileyeceği, verimlilik artışı sağlayacağı ve üretim şekillerini kökten değiştireceği açıktır. Bu çalışmada kavramsal düzeyde ele alınan Endüstri 4.0, bütün bileşenleri ile birlikte teorik olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Geleceğin üretimi olarak adlandırılan bu kavram temelde dokuz bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; büyük veri ve veri analitiği, otonom robotlar, simülasyon, yatay ve dikey bütünleşme, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, bulut teknolojisi, eklemeli üretim ve arttırılmış gerçekliktir. Temel olarak teknolojik ilerleme kabul edilen bu yeni kavram, üretim işletmeleri ile ilişkilendirilmektedir. Ancak birçok çalışmada bu kavramın yalnızca üretim işletmeleri ile değil aynı zamanda gündelik hayatın bütün aşamalarıyla ilişkili olabileceği vurgulanmaktadır. Endüstriyel devrimler hem birbirinin nedeni hem de sonucu olabilmektedir. Bu sebeple Endüstri 4.0 kavramı da üçüncü endüstriyel gelişmenin devamı niteliğinde sayılabilmektedir. Literatür taraması şeklinde oluşturulan bu çalışmanın en önemli üstünlüğü alan yazında bütün bileşenlerin birlikte açıklandığı çalışmaların yok denecek kadar az olması, Türkçe literatürde ise Endüstri 4.0 kavramıyla birlikte anılan temel teknolojilerin kapsamlı açıklamalarının yapıldığı bir çalışmanın olmamasıdır. Bu çalışmada hem endüstriyel devrimlerin tarihsel bakış açısı incelenmiştir, hem de Endüstri 4.0 kavramının ne olduğu ve ne olmadığı, sağladığı avantaj ve dezavantajlar ile birlikte bünyesinde barındırdığı temel anahtar unsurlar detaylı şekilde açıklanmıştır. Bu tür kavramsal çalışmalar (literatür taramaları) ileride yapılacak deneysel çalışmalar için önemli bir altyapı oluşturmaktadır ve literatürdeki araştırma boşluklarının daha net görülmesini sağlamaktadır (Kamble ve diğ., 2018). Kavramsal çalışmalar ileride hangi alanlarda uygulamalı çalışmaların yapılması gerektiği hakkında bir ön bilgi sağlar.

Tüm bu açıklamalara ve literatür taramasına bakılarak ileride Endüstri 4.0 kavramının sosyal medya, müşteri yolculuğu analizi ve pazarlama 4.0 gibi başka başlıklarla olan ilişkisi incelenebilir. Ayrıca Endüstri 4.0 kavramının yine KOBİ'lerdeki uygulamaları ele alınabilir ve uygulamalı araştırmalar yapılabilir. Yine Endüstri 4.0 kavramının içerdiği teknolojik ilerlemeler olan bulut, eklemeli üretim, yapay zekâ, siber-fiziksel sistemler, büyük

veri, nesnelerin interneti, yatay-dikey bütünleşme gibi unsurların gündelik hayattaki uygulamaları ile olan ilişkisi örneklerle açıklanarak konunun uygulayıcılar tarafından anlaşılması sağlanabilir. Çünkü bu yeni kavram hem pratikte hem de teoride anlaşılması ve uygulanması zor bir kavram olarak görünmektedir. Bu yüzden Erol ve arkadaşları (2016, s. 15) Endüstri 4.0'ın ulaşılmaz gibi görünen vizyonunu atölye/fabrika düzeyine indiren pragmatik düşünürlere ve aktörlere ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir. Alman projesi olarak ortaya çıkan bu kavramın öncelikle anlaşılması ve içerdiği kavramların ne olduğunun bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü teorik olarak ifade edilemeyen bir kavramın uygulanmasında zorluklar yaşanması kaçınılmazdır. Bu çalışma sonucunda Türkçe literatür için ortaya konacak en temel önerilerden birisi Endüstri 4.0 kavramının gündelik hayattan örneklerle açıklanması, kavramsal olarak daha sağlam temellere oturtulması, açıklanması sırasında yalın ifadelere başvurulması ve okuyucular ve uygulamacılar için anlaşılır düzeyde ifade edilmesidir. Bir başka öneri ise Endüstri 4.0 kavramının müşteri yolculuğu analizi, pazarlama, müşteri ilişkileri, e-ticaret, KOBİ'ler ve diğer bazı başlıklarla ilgili kavramsal ve deneysel çalışmaların yapılması ve bu alandaki boşlukların doldurulmasıdır.

Kaynakça

Adam, C., Aringer-Walch, C. ve Bengler, K. (2018, Ağustos). Digitalization in manufacturing – employees: Do you want to work there? S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander ve Y. Fujita (Yay. haz.) *Advances in Intelligent Systems and Computing, Proceedings of 20th Congress of the International Ergonomics Association* içinde (s. *267-275), Florence, Italy, doi:* 10.1007/978-3-319-96068-5_30

Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A.,… Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communication of ACM, 53*(4), 50-58 *doi:* 10.1145/1721654.1721672

Biahmou, A., Emmer, C., Pfouga, A. ve Stjepandić, J. (2016). Digital Master as an Enabler for Industry 4.0 M. Borsato ve diğ. (Yay. haz.), *Transdiciplinary Engineering: Crossing Boundaries, Proceedings of 23rd ISPE Inc. International Conference on Transdiciplinary Enginnering* içinde (ss. 672-681) *doi:* 10.3233/978-1-61499-703-0-672

Buer, S. V, Strandhagen, J. O. ve Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research, 56*(8), 2924-2940 *doi:* 10.1080/00207543.2018.1442945

Chaouchi, H., Bourgeau, T. ve Kirci, P., (2013). Internet of Things: From Real to Virtual World N. Chilamkurti,, S. Zeadally ve H. Chaouchi (Yay. haz.) Next-Generation Wireless Technologies içinde (s.161-188), London: Springer *doi:* 10.1007/978-1-4471-5164-7

Ciffolilli, A. ve Muscio, A. (2018). Industry 4.0: National and regional comparative advantages in key enabling technologies. *European Planning Studies,* 26(12), 2323-2343 *doi:* 10.1080/09654313.2018.1529145

Cobo, M. J., Jürgens, B., Herrero-Solana, V., Martinez, M. A. ve Herrera-Viedma, E. (2018). Industry 4.0: A perspective based on bibliometric analysis. *Procedia Computer Science,* 139, 364-371 *doi:* 10.1016/j.procs.2018.10.278

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. ve Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial Performance. *International Journal of Production Economics,* 204, 383-394 *doi*: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019

Ellis, R K. (2018). Revolution 4.0. https://www.td.org/magazines/td-magazine/revolution-40 adresinden erişildi.

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K. ve Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18 *doi:* 10.1016/j.procir.2016.03.162

Flores, M., Maklin, D., Golob, M., Al-Ashaab, A. ve Tucci, C. (2018). Awareness towards Industry 4.0: Key enablers and applications for internet of things and big data. L. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh ve Y. Rezgui (Yay. haz.), *Collaborative Networks of Cognitive Systems* içinde (s.534). Switzerland/Cham: Springer *doi:* 10.1007/978-3-319-99127-6_32

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M. ve Züehlke, D. (2014, Temmuz). Human Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era, 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil. *doi:* 10.1109/INDIN.2014.6945523

Götz, M. ve Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0 – do they fit together? *European Planning Studies, 25(9), 1633-1653. doi:* 10.1080/09654313.2017.1327037

Griffin, A. ve Hauser, J. R. (1996). Integrating R&D and Marketing: A review and analysis of the literatüre. *The Journal of Product Innovation Management*, *13*(3), 191-215 doi: 10.1111/1540-5885.1330191

Havlicek, D. (2017, Mayıs). Čtvrtá průmyslová revoluce: 7 faktů, které byste o ní měli vědět. *Magazín o Průmyslové Automatizaci a Robotice*. https://factoryautomation.cz/ctvrta-prumyslova-revoluce-7-faktu-ktere-byste-o-ni-meli-vedet/ adresinden erişildi

Hofmann, M., Neukart, F. ve Bäck, T. (2017). Artificial Intelligence and Data Science in the Automotive Industry, Comp. Research Repository (CoRR), https://data-science-blog.com/blog/2017/05/06/artificial-intelligence-and-data-science-in-the-automotive-industry/ adresinden erişildi.

Jeske, T., Weber, M. A., Würfels, M., Lennings, F. ve Stowasser, S. (2019). Opportunities of Digitalization for Productivity Management I. Nunes (Yay. haz.), *Advances in Human Factors and Systems Interaction, Proceedings of International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* içinde (s.231-331) Switzerland/Cham: Springer *doi:* 10.1007/978-3-319-94334-3_32

Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRY 4.0: Final report of the industrie 4.0 working group. *National Academy of Science and Engineering*. http://alvarestech.com/temp/RoboAseaIRB6S2-Fiat/CyberPhysicalSystems-Industrial4-0.pdf adresinden erişildi.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A. ve Gawankar, S. A. (2018). Sustainable industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection,* 117, 408-425. doi: 10.1016/j.psep.2018.05.009

Kiel, D., Müller, J., Arnold, C. ve Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1-34. doi: 10.1142/S1363919617400151

Knight, G. (2000). Entrepreneurship and marketing strategy: The SME under globalization. *Journal of International Marketing,* 8(2), 12-32.

Kolberg, D. ve Züehlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, *48*(3), 1870-1875.

Kotler, P. (1989). From mass marketing to mass customization. *Planning Review,* 17(5),10-47.

Kumar, R., Singh, S. P. ve Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using big data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production,* 204, 643-659.

Laudante, E. (2017). Industry 4.0, Innovation and design: A new approach for ergonomic analysis in manufacturing system. *The Design Journal, 20*(1), 2724-2734.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. ve Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business Information Systems Engineering, 6*(4), 239-242.

Li, G., Tan, J. L. ve Chaudhry, S. S. (2019). Industry 4.0 and big data innovations. *Enterprise Information Systems, 13*(2), 145-147.

Lin, K-Y. (2018). User experience–based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. *Computers & Industrial Engineering, 125, 729-738 doi:* 10.1016/j.cie.2018.06.023

Lundin, M. ve Eriksson, S. (2016). Artificial Intelligence in Japan (R&D, Market and Industry Analysis). https://www.eubusinessinjapan.eu/sites/default/files/artificial_intelligence_in_japan.pdf adresinden erişildi

Maresova, P., Soukal, I., Svobodova, L., Hedvicakova, M., Javanmardi, E., Selamat, A. ve Krejcar, O. (2018). Consequences of industry 4.0 in business and economics. *Economies,* 6(46), 1-14.

Mazak, A. ve Huemer, C. (2015, Aralık). A standards framework for value networks in the context of Industry 4.0. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* içinde (ss. 1342-1346), Singapore. doi: 10.1109/IEEM.2015.7385866

McAfee, A. ve Brynjolfsson, E. (2012, Ekim). Big data: The management revolution. *Harvard Business Review*. https://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution adresinden erişildi.

Mell, P. ve Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the national institute of standards and technology. http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf adresinden erişildi.

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S. ve Barbaray, R. (2017). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research, 56*(3), 1118-1136. doi: 10.1080/00207543.2017.1372647

Mohelska, H. ve Sokolova, M. (2018). Management approaches for industry 4.0: The organizational culture perspective. *Technological and Economic Development of Economy, 24*(6), 2225–2240.

Patti, H., Hartley, S. W., van Dessel, M. M. ve Baack, D. W. (2017). Improving integrated marketing communications practices: A comparison of objectives and results. *Journal of Marketing Communications, 23*(4), 351-370.

Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R.,… Vallarino Jr., I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Society,* 26-40.

Prause, G. (2015). Sustainable business models and structures for industry 4.0. *Journal of Security and Sustainability Issues, 5*(2), 159-169.

Rauch, E., Dallasega, P. ve Matt, D. T. (2016). The way from Lean Product Development (LPD) to smart product development (SPD). *Procedia CIRP*, 50, 26-31. doi: 10.1016/j.procir.2016.05.081

Rossi, M., Kerga, E., Taisch, M. ve Terzi, S. (2014). Engineering and design best practices in new product development: An empirical research. *Procedia CIRP,* 21, 455-460.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. ve Harnisch. (2015, Nisan). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf adresinden erişildi

Sanders, A., Elangeswaran, C. ve Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management, 9*(3), 811-833.

Sauter, R., Bode, M. ve Kittelberger, D. (2015). How industry 4.0 is changing how we manage value creation. http://www.cordenceworldwide.com/Insights/2015/07/15/How-Industry-40-Is-Changing-How-We-Manage-Value-Creation adresinden erişildi.

Scheidel, W., Mozgova, I. ve Lachmayer, R. (2017, Eylül). Product data management in the context of industry 4.0. *59th Ilmenau Scientific Colloquium*. https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00039076/ilm1-2017iwk-prg.pdf adresinden erişildi

Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C, Reichstein, C., Neumaier, P. ve Jozinović P. (2015). Industry 4.0 potentials for creating smart products: Empirical research results. W. Abramowicz (Yay. haz.), *18th International Conference on Business Information Systems* içinde (s. 16-27), Switzerland/Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-19027-3_2

Shaw, V. ve Shaw, C. T. (2003). Marketing: The engineer's perspective. *Journal of Marketing Management, 19*(3-4), 345-378.

Shkurupskaya, I. O. (2016). The development of marketing communications under the influence of the industry 4.0. *Journal of Business & Industry 4.0, 1*(2), 103-106.

Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? *Polish Journal of Management Studies, 17*(1), 232-248.

Stock, T. ve Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP,* 40, 536 541.

Strange, R. ve Zucchella, A. (2017). Industry 4.0: Global value chains and international business. *Multinational Business Review, 25*(3), 1-14.

Tohănean, D. (2018). Innovation management and artificial intelligence: The impact of digitalization on management processes. *Review of The Air Force Academy, 1*(36), 81-89.

Tortorella, G. L. ve Fettermann, D. (2017). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research,* 56, 2975-2987.

Tortorella, G., Miorando, R., Caiado, R., Nascimento, D. ve Staudacher, A. P. (2018). The mediating effect of employees' involvement on the relationship between Industry 4.0 and operational performance improvement. *Total Quality Management & Business Excellence*. doi: 10.1080/14783363.2018.1532789

Ungerman, O., Dedkova, J. ve Gurinova, K. (2018). The impact of marketing innovation on the competitiveness of enterprises in the context of industry 4.0. *Journal of Competitiveness, 10*(2), 132-148.

Vassileva, B. (2017). Marketing 4.0: How technologies transform marketing organization. *Obuda University e-Bulletin*, *7*(1), 47-56.

Wang, Y., Ma, H. S., Yang, J. H. ve Wang, K. S. (2017). Industry 4.0: A way from mass customization to mass personalization production. *Advances in Manufacturing, 5*(4), 311- 320.

Weber, A. (2016). Industry 4.0: Myths vs. reality. *Assembly Magazine,* November, 28–37.

Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0: Innovative solutions in logistics and supply chains management: 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management. *Procedia Engineering,* 182, 763-769.

Xia, F., Yang, L. T., Wang, L. ve Vinel, A. (2012). Internet of things [Editoryal]. *International Journal of Communication Systems,* 25, 1101-1102.

Xu, L. D., Xu, E. L. ve Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research, 56*(8), 2941-2962.

Yılmaz, İ. G., Aygün, D. ve Tanrıkulu, Z. (2017). Social media's perspective on industry 4.0: A Twitter analysis. *Social Networking,* 6, 251-261.

Zhang, Q., Cheng, L. ve Boutaba, R. (2010). Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications,*1, 7-18.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E. ve Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A Review. *Engineering,* 3, 616-630.