



JOEEP

Journal Homepage: <http://dergipark.org.tr/joep>



Derleme Makalesi • Review Article

Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve

The Effects of Industry 4.0 Technologies and Industry 4.0 within the Scope of Production and Supply Chain: A Theoretical Framework

Yasemin Gedik ^{a,*}

^a Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi Anabilim Dalı, 34433, Beyoğlu/İstanbul
ORCID: 0000-0002-1166-3227

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 1 Ağustos 2020

Düzeltilme tarihi: 7 Aralık 2020

Kabul tarihi: 2 Ocak 2021

Anahtar Kelimeler:

Tedarik zinciri

Tedarik zinciri yönetimi

Dijital tedarik zinciri

Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 Teknolojileri

ARTICLE INFO

Article history:

Received: August 1, 2020

Received in revised form: Dec 7, 2020

Accepted: January 2, 2021

Keywords:

Supply chain

Supply chain management

Digital supply chain

Industry 4.0

Industry 4.0 Technologies

ÖZ

Üretim organizasyonlarının geleceği, değer zincirlerinin birbirine bağlı olduğu ve üretim sistemlerinin giderek daha akıllı, özerk ve otomatik hale geldiği daha dijitalleştirilmiş bir ortamın geliştirilmesi ile küresel olarak dönüştürülmektedir. Endüstri 4.0, modern imalat dünyasında siber-fiziksel sistemlerin yaygın kullanımı ile karakterize edilen dördüncü endüstriyel devrimi ifade etmek için kullanılan terimdir. Bilgi ve iletişim teknolojisinin olağanüstü değişimi, ağırlıklı olarak fiziksel aktivitelere dayalı geleneksel iş modelleri bozmakta ve dijitalleşmeye doğru kaydırmaktadır. Dijital bozulma yalnızca iş modellerini ve tedarik zincirlerini etkilemekle kalmaz; aynı zamanda işletmeler ve insanlarla yeni ilişkiler ve etkileşimler de dahil olmak üzere toplumun tüm kesimlerini önemli ölçüde etkiler. Endüstri 4.0, gerçek zamanlı veri toplamak ve analiz etmek için dijital teknolojilerin benimsenmesine dayanır ve birlikte çalışabilirlik, bilgi şeffaflığı, teknik yardım ve merkezi olmayan karar verme özelliklerini içerir. Bu çalışma nesnelerin interneti, bulut, siber-fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik, 3D baskı, büyük veri, otonom robotlar gibi temel Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkilerine odaklanırken, Endüstri 4.0'ın bu bağlamda etkileri hakkında da geniş bir teorik çerçeve oluşturmayı hedeflemektedir.

ABSTRACT

The future of manufacturing organizations is transformed globally with the development of a more digitalized environment where value chains are interconnected and production systems become increasingly intelligent and automated. Industry 4.0 is the term used to refer to the fourth industrial revolution, characterized by the widespread use of cyber-physical systems in the modern manufacturing world. The extraordinary change of information and communication technology disrupts traditional business models that rely heavily on physical activities and shifts them towards digitalization. Digital disruption not only affects business models and supply chains; it also significantly affects all segments of society, including new relationships and interactions with businesses and people. Industry 4.0 is based on the adoption of digital technologies to collect and analyze real-time data and includes interoperability, information transparency, technical assistance and decentralized decision making. While this study focuses on the effects of basic Industry 4.0 technologies such as the internet of things, cloud, cyber-physical systems, augmented reality, 3D printing, big data, autonomous robots in the scope of production and supply chain, it aims to create a broad theoretical framework about the effects of Industry 4.0 in this context.

1. Giriş

İlk Sanayi Devrimi'nden bugüne kadar gerçekleşen devrimler-su ve buharla çalışan makinelerden elektrik ve dijital otomatik üretime kadar-üretim sürecini daha

karmaşık, otomatik ve sürdürülebilir hale getiren üretimle sonuçlanmıştır. Endüstri 4.0 terimi, ürünlerin yaşam döngüsünün tüm değer zincirinde yeni bir organizasyon ve kontrol düzeyi olarak tanımlanan Dördüncü Sanayi Devrimi

* Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: dr.yasemingedik@hotmail.com

Atf/Cite as: Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 Teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın Üretim ve Tedarik Zinciri Kapsamındaki Etkileri: Teorik Bir Çerçeve. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248-264.

e-ISSN: 2651-5318. © 2021 TÜBİTAK ULAKBİM DergiPark ev sahipliğinde. Her hakkı saklıdır. [Hosting by TÜBİTAK ULAKBİM JournalPark. All rights reserved.]

anlamına gelmektedir (Vaidya vd., 2018: 233). Son yıllarda Endüstri 4.0, ağırlıklı olarak gelişmiş ekonomilerde, imalat sektörünün gelecekteki dönüşümlerini ortaya koyarken, gelişmekte olan ekonomiler için nispeten yenidir ve iş dünyasında derinlemesine bir anlayış ve uygulama gerektirir. Buna ek olarak, Endüstri 4.0 tedarik zinciri faaliyetlerini, iş sürecini ve modellerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Luthra ve Mangla, 2018: 7). Genel olarak Endüstri 4.0'ın üç noktada ilerlemeyi temsil etmektedir (Roblek vd., 2016: 2-3):

- Üretimin dijitalleştirilmesi: Yönetim ve üretim planlaması için bilgi sistemleri,
- Otomasyon: Üretim hatlarından veri toplama ve makineleri kullanan sistemler,
- Otomatik veri değişimi: Üretim tesislerini kapsamlı bir tedarik zincirinde birbirine bağlama

Endüstri 4.0, çeşitli dijital teknolojilerden (3D baskı, IoT, gelişmiş robotik vb.) yeni malzemelere (örn. biyo veya nano tabanlı) ve yeni süreçlere (veriye dayalı üretim, sentetik biyoloji vb.) kadar değişen teknolojilerin bir araya gelmesidir (OECD, 2016: 3). Bu teknolojiler, operasyonlarda ve tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Ancak Endüstri 4.0, sadece teknolojileri entegre etmekle ilgili değildir; daha hızlı, daha ucuz, daha verimli ve daha sürdürülebilir bir ürün yapmak veya bir hizmet sunmak için, gelecekteki müşteri taleplerinin, kaynaklarının ve verilerinin nasıl elde edildiği, paylaşıldığı, kullanıldığı, yeniden üretildiği ve geri dönüştürüldüğü ile alakalı tüm konsepti de içerir. Bu nedenle, Endüstri 4.0, ürünlerin/ hizmetlerin nasıl tedarik edildiği, üretildiği, dağıtıldığı, satıldığı ve tedarik zincirinde nasıl kullanıldığı konusunda yeniden düşünmeyi ve zihniyet değişikliğini gerektirir (Koh vd., 2019: 817-818). Son on yılda, gelecekteki endüstriyel sistemler endüstri ve akademiye sık sık tartışılırken, bu tür sistemleri tanımlamak için birçok girişim ortaya çıkmıştır. Bu tür sistemlerin başarılı bir şekilde geliştirilmesi, imalat şirketleri ve ulusal ekonomiler arasında rekabet avantajı yaratmak için hayati önem taşımaktadır ve Avrupa'da en köklü olanı Endüstri 4.0'dır (Masood ve Sonntag, 2020:1).

Endüstri 4.0, makineleşmenin, elektrifikasyonun ve bilgisayarlaşmanın ortaya çıkışından sonraki dördüncü sanayi devrimini temsil eden bir yüksek teknoloji stratejisidir ve üretim ortamının artan dijitalleşmesi ve otomasyonunun yanı sıra ürünler, çevreleri ve iş ortakları arasında iletişimi sağlamak için dijital değer zincirlerinin yaratılmasını tanımlamaktadır. Bilgi işlem teknolojisi (BT) ve bulut bilişim kullanımı, herhangi bir konumdan verilere gerçek zamanlı erişim sağlayarak ve iş birliğini geliştirerek tedarik zincirlerini önemli ölçüde dönüştürmüştür (Dallasega vd., 2018: 208-210). En gelişmiş ekonomilerin bazılarında, bilgi ve iletişim teknolojisindeki (BİT) en son gelişmeleri dahil ederek endüstriyel üretimde üretkenliği ve verimliliği artırmaya çalışan dünya çapında bir hareket mevcuttur. Bu vizyon, gelişmekte olan bilgi ve iletişim

teknolojilerinin benimsenmesinin ve bunların üretime yönelik yeni rekabetçi yaklaşımlardaki göreceli ağırlığının önümüzdeki yıllarda artacağını ve tamamen yeni çözümler ve hizmetler açacağını kabul etmektedir (Posada vd., 2015: 26).

Endüstri 4.0 terminolojisi, Almanya'da, 2011 yılında, 4. Sanayi Devrimi'nin başlangıcını temsil eden Hannover Fuarı etkinliğinde başlatılmıştır (Bibby ve Dehe, 2018: 4). Endüstri 4.0, Alman imalat endüstrisini daha rekabetçi hale getirme girişiminden (Industrie 4.0) küresel olarak benimsenen bir terime doğru gelişen bir vizyondur (<https://www.i-scoop.eu/>, 2020). Almanya'nın 2020 Yüksek Teknoloji Stratejisi ile başlayan Endüstri 4.0 vizyonunu, İngiltere'nin UK Catapult, Amerika'nın Manufacturing USA, Fransa'nın Industrie Du Futur ve Hollanda'nın Smart Industry girişimleri takip etmiştir. Daha yakın zamanlarda, İtalyan Ekonomik Kalkınma Bakanlığı, işletmeleri dijitalleştirmek için kamu ve özel Ar-Ge harcamalarını artırmak amacıyla İtalya'nın Endüstri 4.0 planını başlatmıştır (Ardito vd., 2019: 326). 2022'de İtalya'da Endüstri 4.0 pazarının 3,6 milyar Euro'ya ulaşması beklenmektedir (<https://www.statista.com/>, 2020).

Alman federal hükümeti Endüstri 4.0'ı 2011'de yüksek teknoloji stratejisinin temel girişimlerinden biri olarak ilan ettiğinden beri, çok sayıda akademik yayın, makale ve konferans bu konuya odaklanmıştır. Hermann vd. (2016)'ya göre, Endüstri 4.0'a ilginin iki temel sebebi bulunmaktadır. Birincisi, ilk kez bir sanayi devrimi, sonradan gözlemlenmek yerine, öngörülmektedir. Bu, işletmelere ve araştırma kurumlarına geleceği aktif olarak şekillendirmek için çeşitli fırsatlar sağlar. İkincisi, endüstri 4.0, tamamen yeni iş modellerinin, hizmetlerinin ve ürünlerin geliştirilmesinin yanı sıra önemli ölçüde artırılmış operasyonel etkinlik vaat ettiği için, bu endüstriyel devrimin ekonomik etkisinin çok büyük olduğu varsayılmaktadır (Hermann vd., 2016: 3928). Öte yandan Hoffman ve Rüsç (2017), Endüstri 4.0'ın özellikle lojistik yönetimi alanında, muazzam bir potansiyele sahip görüldüğünü ancak henüz başlangıç aşamasında olduğunu ve pratikte tam olarak yerleşmediği vurgulamaktadır (Hofmann ve Rüsç, 2017: 1).

Endüstri 4.0, üretim / üretim ve ilgili endüstrilerin ve değer yaratma süreçlerinin dijital dönüşümüdür. Endüstri 4.0'ın faydalarının çoğu, üretimin dijital dönüşümünün faydalarını, üretimde IoT'nin kullanımını, operasyonel ve iş süreci optimizasyonu, bilgi destekli değer ekosistemlerini içerir. Bununla birlikte, optimizasyon ve otomasyon yoluyla gelişmiş üretkenlik; gerçek zamanlı bir ekonomide gerçek zamanlı bir tedarik zinciri için gerçek zamanlı veriler; gelişmiş bakım ve izleme olanaklarıyla daha yüksek iş sürekliliği; daha kaliteli ürünler: gerçek zamanlı izleme, IoT özellikli kalite iyileştirme ve cobot'lar; daha iyi çalışma koşulları ve sürdürülebilirlik; tüketiciler için kişiselleştirme ve özelleştirme; geliştirilmiş çeviklik; yenilikçi yeteneklerin ve yeni gelir modellerinin geliştirilmesi de Endüstri 4.0'ın diğer faydaları arasındadır (<https://www.i-scoop.eu/>, 2020).

Literatürde Endüstri 4.0'ın etkilerini içeren çok sayıda çalışma yayınlanmıştır. Endüstri 4.0 ve tedarik zincirleri ilişkileri ise, sürdürülebilir endüstriyel değer yaratma (örn. Müller ve Voigt, 2018; Bell, 2020; Jones vd., 2020), inovasyon perspektifi (örn. Hahn, 2020; Liu ve De Giovanni, 2019), dijital tedarik zincirleri (örn. Ivanov vd., 2019; Gupta vd., 2020), risk analizi (örn. Radanliev vd., 2020; Ivanov ve Dolgui, 2019), küresel değer zincirleri (örn. Chen, 2019; Brun vd., 2019) gibi farklı açılardan incelenmiştir. Bu çalışma, temel Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkilerine odaklanırken, Endüstri 4.0'ın bu bağlamda etkileri hakkında da geniş bir teorik çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla öncelikle tedarik zinciri ve tedarik zinciri yönetimi kavramları açıklanmış, ardından tedarik zincirleri ve dijitalizasyon, Endüstri 4.0 kavramı ve temel Endüstri 4.0 teknolojileri incelendikten sonra çalışma endüstri 4.0'ın üretim ve tedarik zincirlerindeki etkileri anlatılarak sonlandırılmıştır.

2. Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, hammaddelerin nihai ürünlere dönüştürülüp son müşterilere teslim edildiği yapılandırılmış bir üretim

Şekil 1. Tipik Tedarik Zinciri



Kaynak: Lummus vd. (2003: 1)

Modern tedarik zincirleri, yalnızca tedarikçiler, üreticiler, distribütörler, perakendeciler ve müşteriler değil; aynı zamanda tedarikçinin tedarikçileri, müşterinin müşterileri de dahil olmak üzere geniş ve karmaşık birbirine bağlı birimler ağından oluşan çok daha karmaşık yapılar hale gelmiştir (Mari vd., 2015: 367). Tedarik zinciri, nihai tüketiciye teslim edilen ürün ve hizmetler şeklinde değer üreten farklı süreç ve faaliyetlerde yukarı ve aşağı yönlü bağlantılar yoluyla yer alan organizasyonlar ağıdır. Başka bir deyişle, bir tedarik zinciri hem yukarı akış (yani tedarik) hem de aşağı akış (yani dağıtım) ve nihai tüketici olmak üzere birden fazla işletmeden oluşur. Bu tanım kapsamında üç derece tedarik zincirinden bahsetmek mümkündür (Mentzer vd., 2001: 3-4)

- Doğrudan tedarik zinciri, bir ürün, hizmet, finans ve/veya bilginin, yukarı ve/veya aşağı akış ağında bulunan işletme, tedarikçi ve müşteriden oluşur.
- Genişletilmiş tedarik zinciri, bir ürün, hizmet, finans ve/veya bilginin, yukarı ve/veya aşağı akış ağında bulunan tedarikçilerin tedarikçileri ve müşterilerin müşterilerini içerir.
- Nihai tedarik zinciri, nihai tedarikçiden nihai müşteriye kadar tüm ürün, hizmet, finans ve bilgilerin yukarı akış ve aşağı akış ağında yer alan bütün kuruluşları içerir.

sürecidir. Tedarik zinciri, hammadde tedariki ile başlayan ve nihai ürünlerin nihai tüketiciye ulaştırılmasıyla genişleyen bağlantılı bir kaynak ve süreçler kümesidir. Dolayısıyla tedarik zincirinin, hammaddelerin mamul haline dönüştürülmesi ve son kullanıcıya taşınması için organizasyonların dahil olduğu süreç entegrasyonunun genel bir tanımı olduğunu söylemek mümkündür (Janvier-James, 2012: 194-195).

1990'lı yıllarda işletmeler, müşteri değerini arttırmak için tedarikçilerine ve müşterilerine organizasyonel sınırlarının ötesinde bakma gereğini fark etmiştir. Tedarik veya talep zinciri yönetimi adı verilen bu hareket, işletme süreçlerinin iç yönetimden işletmeler arası yönetime doğru kaymasına neden olmuştur. Bu bağlamda tedarik zinciri, tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine kadar nihai bir ürün/hizmetin üretilmesi ve sunulmasıyla ilgili her türlü çabayı kapsamaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, arz ve talebin yönetilmesini, hammadde ve parçaların tedarik edilmesini, imalat ve montajı, depolama ve stok takibini, sipariş giriş ve yönetimini, tüm kanallar arasında dağıtım ve müşteriye teslimatı içerir. Şekil 1, tipik bir tedarik zincirini göstermektedir (Lummus vd., 2003: 1):

Artan imalat maliyetleri, ürün yaşam döngülerinin kısalması ve piyasa ekonomilerinin küreselleşmesi gibi üretim ortamındaki çeşitli değişiklikler de tedarik zincirlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Daha önce belirtildiği gibi tedarik zinciri, hammaddelerin nihai ürünlere dönüştürülüp daha sonra müşterilere teslim edildiği entegre bir üretim işlemidir. En üst düzeyde bir tedarik zinciri iki temel entegre süreçten oluşur (Beamon, 1998: 2):

- Üretim planlama ve stok kontrol süreci, üretim ve depolama alt süreçlerini ve bunların ara yüzlerini kapsar. Daha spesifik olarak, envanter kontrolü, proses içi stoklar, hammadde ve nihai ürünler için depolama politikaları ve tüm üretim sürecinin tasarımını ve yönetimini açıklar.
- Dağıtım ve lojistik süreci, ürünlerin depodan perakendecilere nasıl alınacağını ve nakledileceğini belirler. Bu ürünler doğrudan perakendecilere taşınabilir veya ilk olarak dağıtım tesislerine taşınabilir. Bu süreç envanter alımı, nakliye ve nihai ürün teslimatının yönetimini içerir. Bu süreçlerin tasarımı ve yönetimi, tedarik zincirinin gerekli performans hedeflerine ulaşmak için bir birim olarak ne ölçüde çalıştığını gösterir.

Tedarik zincirinin iyileştirilmesi, tüm tedarik zinciri üyeleri için fayda anlamına gelir. Azalan işten çıkarmalar, düşük

stok seviyeleri, daha kısa teslim süresi ve azalan talep belirsizlikleri sonucunda maliyetler düşer. Geliştirilmiş süreç performansı, ürün kalitesinin, müşteri hizmetlerinin, pazarın yanıt verebilirliğinin ve hedef pazar erişiminin artmasına neden olur. Böylece, sorunsuz bir şekilde koordine edilmiş bir tedarik zinciri yaratarak ve işletme içi rekabeti tedarik zincirleri arası rekabete yükselterek dahili ve harici yeteneklerin daha iyi kullanılmasıyla performans artışı sağlanmış olur (Naslund ve Williamson, 2010: 12).

3. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi, terimin Booz ve Allen & Hamilton'daki danışmanlar tarafından ilk kez tanımlandığı 1980'lere dayanmaktadır. Bununla birlikte, bir tedarik zincirinde bilgi paylaşımı ve koordinasyonun faydalarına dikkat çekerek bu kavramı inşa eden Houlihan (1985) olmuştur (Rana ve Sharma, 2019: 89). Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiden nihai kullanıcıya kadar bir dağıtım kanalının toplam akışını yönetmek için bütünleştirici bir felsefedir. Tedarik zincirini yönetimi, genellikle yüksek müşteri hizmetleri, düşük stok yönetimi ve düşük birim maliyet ile çelişen hedefler arasında görülen dengeyi sağlamak için müşterinin gereksinimlerini tedarikçilerden gelen malzeme akışı ile senkronize etmeye odaklanır. Tedarik zinciri bir bütün olarak görülür. Ayrıca sistem yaklaşımı, müşteri odaklılık ve stratejik karar almayı gerektirir (Mentzer vd., 2001: 6-7).

Tedarik zinciri yönetimi, müşteri değerini en üst düzeye çıkarmak ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde etmek için tedarik zinciri faaliyetlerinin aktif yönetimidir. Tedarik zinciri faaliyetleri, ürün geliştirme, tedarik ve üretimden lojistiğe ve bu faaliyetleri koordine etmek için gereken bilgi sistemlerine kadar her şeyi kapsar. Tedarik zincirini oluşturan kuruluşlar fiziksel ve bilgi akışları aracılığıyla bağlıdır ve müşteri deneyimine değer katan ortaklıklar kurarlar. Fiziksel akışlar, ürün ve malzemelerin dönüşümünü, hareketini ve depolanmasını içerir. Bilgi akışları, çeşitli tedarik zinciri ortaklarının uzun vadeli planlarını koordine etmelerine ve tedarik zincirinde yukarı ve aşağı günlük ürün ve malzeme akışını kontrol etmelerine olanak tanır (<https://cscmp.org/>, 2020)

Tedarik zinciri yönetimi, bir bütün olarak tedarik zincirine daha düşük maliyetle üstün müşteri değeri sunmak için tedarikçiler ve müşterilerle yukarı ve aşağı yönlü ilişkilerin yönetimidir (Rana ve Sharma, 2019: 89). Tedarik zinciri yönetimi terimi, lojistik ile yakın olmakla birlikte daha geniş bir kavramdır. 1998'de Lojistik Yönetimi Konseyi, iki terimin eş anlamlı olmadığını vurgulamış ve lojistik tanımını tedarik zinciri yönetiminin bir alt kümesi olarak değiştirmiştir. Tedarik zinciri yönetimi kavramına ilgi, işletmelerin kendi organizasyonları içinde ve ötesinde işbirlikçi ilişkilerin faydalarını gördüğü 1980'lerden bu yana giderek artmaktadır. Üreticilerin iş yapma şekillerinde aşağıda meydana gelen değişiklikler, beraberinde yönetim değişikliğini de getirmiştir (Lummus ve Vokurka, 1999:1-2; Swanson vd., 2018:2)

- Satıcılar ve müşteriler arasında daha fazla bilgi paylaşımı.
- Dikey departman işlevlerinin yerini alan yatay iş süreçleri.
- Seri üretimden özelleştirilmiş ürünlere geçiş.
- Tedarikçi sayısında eşzamanlı azalma ile satın alınan malzemelere ve dış işlemeye artan güven.
- Organizasyon ve süreç esnekliğine daha fazla vurgu
- Birçok sitede süreçleri koordine etme gereği.
- Çalışanların güçlendirilmesi ve kurallara dayalı gerçek zamanlı karar destek sistemlerine duyulan ihtiyaç.
- Yeni ürünleri daha hızlı tanıtmak için rekabetçi baskı

4. Tedarik Zincirleri ve Dijitalizasyon

Bilgi ve iletişim teknolojileri tarafından desteklenen dijitalleşme süreci, son yıllarda rekabet avantajı elde eden işletmelerde itici bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Dijital tedarik zinciri, hizmetleri tutarlı, çevik ve etkili sonuçlarla daha değerli, erişilebilir ve uygun fiyatlı hale getirerek, işletmeler arasındaki etkileşimi desteklemek ve senkronize etmek için dijital donanım, yazılım ve ağlar için büyük veri kullanımı, mükemmel iş birliği ve iletişim yeteneğine dayanan akıllı ve en uygun teknolojik sistem olarak tanımlanabilir (Queiroz vd., 2019: 4). Dijitalleşme geleneksel tedarik zincirlerini değiştirerek, zinciri dahil olan tüm oyuncular için tamamen şeffaf olan tamamen entegre bir ekosistem haline getirir. Dijital tedarik zincirinin amacı hem dayanıklı hem de duyarlı olan tamamen yeni bir tedarik ağı türü oluşturmaktır. Dijital tedarik zinciri; entegre planlama ve yürütme, lojistik görünürlük, Tedarik 4.0, akıllı depolama, verimli yedek parça yönetimi, otonom ve B2C lojistiği, kuralcı tedarik zinciri analitiği ve dijital tedarik zinciri sağlayıcıları olmak üzere sekiz temel unsurdan oluşur. Bu parçaları tutarlı ve tamamen şeffaf bir bütün halinde bir araya getirebilen işletmeler müşteri hizmetleri, esneklik, verimlilik ve maliyet düşürme konularında büyük avantajlar elde edecektir (Schrauf ve Berttram, 2016: 5-6). IBM'a (2009) göre Endüstri 4.0 ile birlikte akıllı tedarik zincirleri üç temel özelliğe sahip olacaktır:

- Enstrümantal: Daha önce insanlar tarafından oluşturulan tedarik zinciri bilgileri, sensörler, RFID etiketleri, sayaçlar, aktüatörler, GPS ve diğer cihazlar ve sistemler tarafından giderek daha fazla üretilecektir. Nakliye konteynirleri, kamyonlar, ürünler ve parçalar gibi nesnelere kendilerini rapor ettiklerinden, iş gücü temelli izleme ve izlemeye daha az güvenilecek ve cihazlardaki gösterge panoları, planların, taahhütlerin, tedarik kaynaklarının, boru hattı envanterlerinin ve tüketici gereksinimlerinin gerçek zamanlı durumunu gösterecektir.

- Birbirine bağlı: Tedarik zincirleri, yalnızca müşteriler, tedarikçiler ve genel olarak BT sistemleriyle değil, aynı zamanda tedarik zincirini izleyen ve hatta akan nesnelere arasında da benzeri görülmemiş düzeyde etkileşimden yararlanacaktır. Tedarik zincirinin daha bütünsel bir görünümünü oluşturmanın yanı sıra, bu kapsamlı ara bağlantı, büyük ölçekte iş birliğini de kolaylaştıracaktır.
- Akıllı: Tedarik zincirleri, insan müdahalesi olmadan kendi başına öğrenme ve bazı kararlar alma yeteneğine sahip olacaktır. Bu zekâ sadece gerçek zamanlı kararlar almak için değil, aynı zamanda geleceği tahmin etmek için de kullanılacaktır. Gelişmiş modelleme ve simülasyon yetenekleri ile donatılmış olan daha akıllı tedarik zinciri, öngörme ve harekete geçme duygusunu ve tepkisini geçecektir.

Her sanayi devriminin özü, verimlilik artışıdır. Bununla birlikte, dördüncü sanayi devrimi daha da ileri gidiyor ve üretkenliği artırmanın yanı sıra, ürün geliştirme ve mühendislik süreçlerinden giden lojistiğe kadar tüm tedarik zincirini etkileyecektir (Pereira ve Romero, 2017: 1212-1213). Tedarik zincirleri ve tedarikçiler inovasyonda artan bir rol oynamaktadır (Druehl vd., 2017: 3). İnternet teknolojilerinin bilgi akışı ve kendi kendini kontrol eden akıllı makineler ve akıllı ürünler ile birleşimi sayesinde, tedarik zinciri tamamen entegre olacak, birbirine bağlı sistemlerle desteklenecek ve mükemmel bir şekilde koordine edilecektir. Tüm bu faktörler, özellikle satın alma, üretim ve dağıtım aşamalarında maliyet azaltma fırsatları,

Şekil 2. Dört Sanayi devrimi



Kaynak: Vaidya vd., 2018: 234

İlk sanayi devrimi su gücü ve buhar gücü ile mekanizasyonda ortaya çıkmıştır. İkinci sanayi devrimi, üretim hatları ve elektrik enerjisi yardımıyla toplu üretimdir. Üçüncü sanayi devrimi, üretimi daha da otomatikleştirmek için dijital devrim, elektronik ve BT uygulamalarıyla bağlantılıdır (Lukac, 2015: 1). Dördüncü sanayi devrimi dönemi, tam otomasyon ve sayısallaştırma süreçleri ve özel bir ortamda üretim ve hizmetlerde elektronik ve bilgi teknolojilerinin (BT) kullanımını ile karakterizedir (Roblek vd., 2016: 1).

süreç şeffaflığında artış, tedarik sürecinin optimizasyonu ve esneklik getirecektir. Tedarik 4.0 da akıllı sistemler, belirli bir malzemeye olan talebi belirleyebilir ve herhangi bir insan müdahalesi olmaksızın tedarikçiye otonom olarak iletilen bir sipariş oluşturabilir. Ayrıca, dağıtım faaliyetleri, lojistik faaliyetlerin özerk karar verme, kontrol ve planlama anlamına gelen önemli derecede otomasyon ile karakterize edilir (Cimini vd., 2018: 7).

5. Endüstri 4.0 Kavramı

Üretim organizasyonlarının geleceği, değer zincirlerinin birbirine bağlı olduğu ve üretim sistemlerinin giderek daha akıllı, özerk ve otomatik hale geldiği daha dijitalleştirilmiş bir ortamın geliştirilmesi ile küresel olarak dönüştürülmektedir (Bibby ve Dehe, 2018: 3). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin benzeri görülmemiş gelişimi, ağırlıklı olarak fiziksel aktivitelere dayalı geleneksel iş modelleri bozmakta ve dijitalleşmeye doğru kaydırmaktadır. Dijital bozulma yalnızca iş modellerini ve tedarik zincirlerini etkilemekle kalmaz; aynı zamanda işletmeler ve insanlarla yeni ilişkiler ve etkileşimler de dahil olmak üzere toplumun tüm kesimlerini önemli ölçüde etkiler. Dahası, gelişmiş robotik, artırılmış gerçeklik, nesnelere interneti (IoT), bulut, büyük veri, siber-fiziksel sistem (CPS), büyük veri analitiği vb. dijital entegrasyonla yönlendirilen teknolojilerle desteklenen 4. Sanayi Devrimi'ni de mümkün kılar (Queiroz vd.,2019: 1-2; Bar vd., 2018:1)

Endüstri 4.0 terimi, dördüncü sanayi devrimini ifade etmektedir (Şekil 2).

Bununla birlikte Endüstri 4.0, bugün kısmen mevcuttur. Günümüzün çağdaş üretim tesislerinde birçok unsuru bulunmaktadır ancak mevcut ve yeni parçaların bir bütün olarak etkisini ortaya çıkarması biraz daha zaman alacaktır (Lukac, 2015: 2). Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi'ne göre, Endüstri 4.0'ın etkisi devrim niteliğinde, ancak yayılması muhtemelen evrimsel nitelikte olacaktır (Prause ve Weigand, 2016: 104). Endüstri 4.0, referans mimarileri, standartizasyonu ve hatta akıştaki tanımları ile hareket halindeki bir vizyon ve kavramdır. Endüstri 4.0 girişimlerinin çoğu, sınırlı kapsamı olan erken aşama projelerdir. Dijitalleşme ve dijitalleşme çabalarının çoğu da

gerçekte üçüncü ve hatta ikinci sanayi devrimi teknolojileri / hedefleri bağlamında gerçekleşmektedir (<https://www.i-scoop.eu/>, 2020). Benzer şekilde Witkowski (2017), Endüstri 4.0 vizyonunun gerçekleşmesinin 10-20 yıl alması beklendiğini belirtmektedir. Endüstri 4.0, müşterilerin ihtiyaçlarına uygun olarak şekillendirilecek ve akıllı fabrikalarda üretilecek dijital ürün modellerini kullanacaktır. Akıllı fabrikaların büyük ölçüde kendi kendini planlama ve uyum sağlama becerisine sahip olacağı varsayılmaktadır (Witkowski, 2017: 768-769).

Öte yandan literatürde, Endüstri 4.0'ın herkes tarafından kabul edilmiş tek bir tanımı bulunmamaktadır. Günümüzde Endüstri 4.0, özellikle imalat endüstrisinde, endüstri ortamındaki yakın değişiklikleri tanımlamak için popüler bir terimdir (Brettel vd., 2014: 6) Endüstri 4.0, farklı yazarlar tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Prause ve Weigand (2016), Endüstri 4.0'ı, siber-fiziksel sistemlerin üretim ve lojistikte entegrasyonu ve endüstriyel süreçlerde nesnelerin internetinin uygulanması olarak tanımlar. Buna değer zinciri, iş modelleri, hizmetler ve çalışma ortamı için sonuçlar dahildir (Prause ve Weigand, 2016: 104). PWC'a (2016) göre, üretimin fiziksel ve dijital dünyasını birbirine bağlamayı amaçlayan siber-fiziksel üretim sistemlerine dayanan Endüstri 4.0 / dijital işlemler, değer zincirlerinin ve / veya hizmetlerin dijitalleştirilmesi ve entegrasyonunu içerir (PWC, 2016). Shafiq vd. (2015), Endüstri 4.0'ı üç farklı tanımla açıklamaktadır (Shafiq vd., 2015: 1147-1148):

- *Endüstri 4.0, karmaşık fiziksel makine ve cihazların, daha iyi iş ve toplumsal sonuçları tahmin etmek, kontrol etmek ve planlamak için kullanılan ağ bağlantılı sensörler ve yazılımlarla entegrasyonudur
- *Endüstri 4.0, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca yeni bir değer zinciri organizasyonu ve yönetimi seviyesidir.
- Endüstri 4.0, değer zinciri organizasyonu teknolojileri ve kavramları için ortak bir terimdir. Endüstri 4.0'ın modüler yapıya sahip akıllı fabrikaları içerisinde siber-fiziksel sistemler, fiziksel süreçleri izler, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasını oluşturur ve merkezi olmayan kararlar alır.

Masood ve Sonntag (2020), Endüstri 4.0'ın hedeflerini, üretilen ürünlerin BT destekli kitlesel özelleştirmesini sağlamak; üretim zincirinin otomatik ve esnek adaptasyonunu yapmak; parçaları ve ürünleri izlemek için, parçalar, ürünler ve makineler arasındaki iletişimi kolaylaştırmak; insan-makine etkileşimi (HMI) paradigmasını uygulamak; akıllı fabrikalarda IoT özellikli üretim optimizasyonu sağlamak; ve değer zincirinde yeni hizmet türleri ve iş etkileşim modelleri sağlamak olarak sıralamaktadır (Masood ve Sonntag, 2020: 2). Lu(2017), Endüstri 4.0'ın beş ana özelliğini, üretimin dijitalleştirilmesi, optimizasyonu ve özelleştirilmesi; otomasyon ve adaptasyon; insan makine etkileşimi (HMI); katma değerli hizmetler ve işletmeler ve otomatik veri alışverişi ve iletişim

olarak açıklamaktadır. Bu özellikler yalnızca internet teknolojileri ve gelişmiş algoritmalarla yüksek düzeyde ilişkili olmakla kalmaz, aynı zamanda Endüstri 4.0'ın endüstriyel bir değer katma ve bilgi yönetimi süreci olduğunu da gösterir (Lu, 2017: 1). Pfohl vd. (2015), Endüstri 4.0'ı dijitalleşme, özerkleştirme, şeffaflık, mobilite, modülerleştirme, ağ iş birliği ile ürün ve süreçlerin sosyalleşmesi eğilimlerini ele almak için bir değer zincirinde üretilen ve uygulanan tüm yıkıcı yeniliklerin toplamı olarak tanımlamakta ve yedi karakterize edici özelliği ayırt etmektedir (Pfohl vd.,2015: 37).

Jayaram (2016), Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerini, birlikte çalışabilirlik, şeffaflık, teknik rehberlik ve bağımsız seçimler olarak açıklamaktadır (Jayaram, 2016: 91). Benzer şekilde bir üretim şirketinin Endüstri 4.0 olarak kabul edilebilmesi için birlikte çalışabilirlik, bilgi şeffaflığı, teknik yardım ve merkezi olmayan karar verme özelliklerini içermesi gerektiğinden bahsetmektedir (Ranta, 2020). Vaidya vd.(2018), Endüstri 4.0'ın gereksinimlerinin, normal makineleri genel performanslarını ve bakım yönetimini çevreleyen etkileşimle iyileştirmek için öz farkındalığına sahip ve kendi kendine öğrenen makinelere dönüştürmek ve ayrıca, gerçek zamanlı veri izleme, ürünün durum ve konumlarını takip etme ve üretim süreçlerini kontrol etmek için talimatların tutulması olduğunu belirtmektedir (Vaidya vd., 2018: 234). Ancak, Endüstri 4.0'ın modern işletmeleri dijitalleştirmenin teknik boyutu ile sınırlı olmadığını, çünkü değer ve tedarik zincirlerinin tamamen yeni bir organizasyonu ve ağ koordinasyonu olduğunu belirtmek çok önemlidir. Böyle bir Endüstri 4.0, üç temel paradigma veya perspektif takip edilerek anlaşılabilir (Glas ve Kleemann, 2016: 57-58):

- Akıllı teknik ve mühendislik perspektifi: Endüstri 4.0, akıllı ürün ve hizmetlerin uygun bir teknik ortamda (nesnelerin endüstriyel interneti, akıllı ev, akıllı fabrika) kullanılmasıdır.
- Organizasyonel ve dönüşümsel bakış açısı: Endüstri 4.0, yetkinlik ve yetenek ağları oluşturmak için organizasyonel ara yüzleri dinamik olarak oluşturma ve hızla kullanma becerisidir.
- Ekonomik, değer odaklı bakış açısı: Endüstri 4.0, iş birliği üretkenliğini gerçekleştirir.

6. Endüstri 4.0 Teknolojileri

Üretim, 2016 yılında dünya gayri safi yurt içi hasılasının %15,58'ini oluşturduğu ve 13,208 trilyon \$ katma değere çevrildiği için dünya ekonomisinin son derece önemli bir sektördür. Özellikle dijital teknolojilerin hızla gelişmesi nedeniyle üretim ortamı hızla değişmektedir. Dijital teknolojilerin bu hızlı gelişimi ve imalat sanayi işletmelerinde uygulanması, Dördüncü Sanayi Devrimi veya Endüstri 4.0 olarak bilinen yeni bir çağ yaratmaktadır (Mourtzis vd., 2019: 156). Endüstri 4.0, gerçek zamanlı veri toplamak ve analiz etmek için dijital teknolojilerin benimsenmesine dayanır ve üretim sistemine faydalı bilgiler

sağlar (Frank vd., 2019: 2). Endüstri 4.0', dijitalleşmeyi ve dolayısıyla işletme süreçlerinin hem yatay (fonksiyonel alanlar arasında) hem de dikey entegrasyonunu (ürün geliştirme ve satın almadan üretime, dağıtım ve müşteri hizmetlerine kadar tüm değer zincirinde) arttırmayı hedefler. Bu hedefe ulaşmak için birçok dijital teknolojiye ihtiyaç vardır (Şekil 3) ve bu teknolojiler, uygulama maliyetlerini ve bilgi işleme süresini en aza indirmek için çeşitli bilgi işlem teknolojisi (BT) sistemleri arasında birlikte çalışabilirliği sağlamalıdır. (Ardito vd., 2019: 326). Bu bölümde, Endüstri 4.0 ile birlikte kullanılan temel teknolojiler ve bu teknolojilerin tedarik zincirleri ile üretim üzerindeki etkileri açıklanmaktadır.



6.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT, uzak sensörlerden gelen verilere erişmek ve çevredeki ortamdaki fiziksel nesnelere kontrol etmek için internet kullanımına dayanmaktadır. IoT, kablosuz sensör ağlarının internet ile entegrasyonu olarak tanımlanabilir. IoT'nin temel konsepti, radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketleri, aktüatörler, cep telefonları ve sensörler gibi nesnelere yaygın varlığıdır. Kapsamlı bir IoT çerçevesi benimsemek için verimli, güvenli, ölçeklenebilir, pazar odaklı bir bilgi işlem ve depolama kaynağına sahip olmak çok önemlidir (Bag vd., 2018: 11; Hao ve Helo, 2017: 1). Endüstriyel IoT ise, talep ve arz odaklı süreçte IoT teknolojilerinin kullanımını ifade eder. Farklı protokoller kullanan ve farklı mimarilere sahip cihazlar ve makineler arasındaki birlikte çalışabilirliği destekleyerek, değer zinciri boyunca gerçek zamanlı verilere sahip olunmasına izin verir (Ardito vd., 2019: 327).

IoT, gelişmekte olan bir endüstriyel ekosistemdir. Verimliliği ve güvenilirliği arttırmayı amaçlayan akıllı makinelerin, gelişmiş tahmine dayalı analitiklerin ve makine-insan iş birliğinin kombinasyonunu kolaylaştırır. Endüstri 4.0'da IoT, akıllı fabrikayı desteklemek için sanal ağların oluşturulmasına yol açabilir; fabrikaya gerçek zamanlı veri toplama ve verileri hızlı bir şekilde iletmeye

yeteneği geliştirerek üretim faaliyetlerinin uzaktan çalışmasını sağlar ve paydaşlar arasındaki iş birliğini etkiler. Ayrıca IoT, IoT, ürünün entegrasyonuna ve koordinasyonuna fayda sağlayabilir ve bilgi akışı ve karar vermenin ademi merkeziliğini mümkün kılar; birbirine bağlı olarak tasarlanmış, otomatik analitik ve karar verme gerçekleştirebilir ve böylece ortam değişikliğine duyarlılığı artırabilir (Koh vd., 2019: 821). IoT teknolojisi, bir ekipmanın durumunu uzak bir konumdan izlemek için kullanılabilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler, sensörler ile izlenebilir ve veriler internet üzerinden iletilebilir. Örneğin çabuk bozulan ürünler nakliye sırasında israf edilmektedir. İnternet, kablosuz, tahmine dayalı analitik ve bulut teknolojilerinin bir araya gelmesi, tüm tedarik zinciri operasyonlarını değiştirebilir. IoT kullanılarak, bozulabilir ürünlerin durumunu izleyerek ve durumu tedarik zinciri paydaşlarına göndererek bu israf en aza indirilebilir (Manavalan ve Jayakrishna, 2018: 5-6).

İletişim, işleyen bir tedarik zincirinin bağlantılarının kurulmasında önemli bir husustur. IoT iletişim platformlarının uygulanması sayesinde doğru iletişim yönetimi mümkündür. Bu tür platformlar, altyapıyı ve bakım maliyetlerini kontrol etmeye ve ayrıca uygun ölçeklenebilirliği sağlamaya izin verir. Bağlı cihazlar tarafından toplanan tüm veriler belirli bir profilde toplanır. Bir platform, IoT protokollerini kullanarak ve cihazların entegrasyonuna izin vererek, belirli bir tedarik zincirindeki çeşitli üreticilerin çözümleri ve diğer bağlantılarla iletişim kurabilir. Aynı zamanda iki yönlü iletişim (yalnızca veri aktarabilen gelişmiş IoT çözümleri değil, aynı zamanda talimat, bilgi ve gerekli destek) sağlar (Szoza, 2017: 405-406).

Öte yandan Aryal vd.(2018), IoT'deki ana araştırma temalarının genel tedarik zinciri ve iş bilgisi yönetiminden tedarik zinciri tasarımı, modeli ve performansı dahil olmak üzere daha spesifik bağlama taşındığını vurgulamaktadır (Aryal vd., 2018). Abdel-Basset vd., (2018), akıllı ve güvenli bir SCM sistemi oluşturmak için, nesnelerin internetini (IoT) SCM'de uygulamış ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile nötrozofik karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı (N-DEMATEL) tekniğini entegre eden bir çerçeve önermiştir. Önerilen çerçeve, araştırmacıların güvenli tedarik zincirleri sistemi tasarımlarına yardımcı olur ve SCM süreçleri için güvenli bir ortam sağlar (Abdel-Basset, vd., 2018). Affia vd., (2019), gıda tedarik zincirlerinde IoT'nin benimsenmesini etkileyen en önemli faktörleri; algılanan performans, maliyet, veri karmaşıklığı, uyumluluk, teknik bilgi, donanım ve altyapı, eşler ve hükümet desteği, güvenlik ve gizlilik endişesi ve benimseme istekliliği olarak sıralamaktadır (Affia vd., 2019).

6.2. Siber-Fiziksel Sistemler (CPS)

Siber-fiziksel sistemler, fiziksel gerçeklik işlemlerinin bilgi işlem ve iletişim altyapıları ile bağlantısını sağlamak için ağ aracılığıyla yenilikçi işlevleri entegre eden endüstriyel

otomasyon sistemleridir. Endüstri 4.0, yeni üretim tekniklerinin, yeni malzemelerin kullanımına ve çeşitlendirilmiş dijital teknolojilerin benimsenmesine dayanmaktadır. CPS'ler ve diğer teknolojiler çerçevesinde, akıllı süreçler, üretimdeki değişikliklere ve endüstriyel üretim zincirindeki arızalara hızlı yanıtlar sağlar. CPS'nin

ana rolleri, üretimin çevik ve dinamik gereksinimlerini karşılamak ve tüm endüstrinin etkililiğini ve verimliliğini artırmaktır. Modüler yapı Endüstri 4.0 akıllı fabrikaları içerisinde CPS, fiziksel süreçleri izler, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasını oluşturur ve merkezi olmayan kararlar alır (Da Silva vd.,2018: 3; Lu, 2017: 1-2).

Tablo 1. CPS Uygulamalarında Beklenen Faydalar ve SCM Hedefleri Arasındaki İlişki

| CPS Uygulamalarından Beklenen Faydalar | Tedarik Zinciri Yönetimi Hedefleri |
|--|---|
| Azaltılmış enerji (makineler) ve altyapı (binalar) maliyetleri; optimize edilmiş lojistik süreçler (üretim lojistiği, nakliye, envanter yönetimi); optimize edilmiş montaj ve bakım (kaplar, makineler, araçlar) süreçleri; verimli makine işlemleri; üretim kaynaklarına daha az yatırım; azaltılmış kontrol maliyetleri (otomatik KPI üretimi); gelişmiş kaliteli izleme; düşük kalite yönetim maliyetleri | Tedarik zinciri boyunca maliyet azaltma |
| Daha yüksek ürün kalitesi; gelişmiş izlenebilirlik (ürünler, tedarik ve montaj parçaları); gelişmiş ürün yaşam döngüsü yönetimi; daha yüksek ürün bütünlüğü (müşteri davranışına ilişkin gerçek zamanlı veriler) | Müşteri için katma değer |
| Daha yüksek kaynak kullanılabilirliği; daha hızlı üretim döngüleri; sürtünme kayıplarının azalması (parça, ürün, kaynak arama); azaltılmış gecikme süreleri (makine duruş süreleri); daha hızlı ürün geliştirme döngüleri (müşteri davranışına ilişkin gerçek zamanlı veriler) | Artan tedarik zinciri hızı |
| Artan süreç görünürlüğü (lojistik, üretim, montaj, ürün kullanımı); artan stok şeffaflığı; artan bilgi kalitesi (hurda oranı, işlem parametreleri); müşteri talebinin artan şeffaflığı | Gelişmiş tedarik zinciri görünürlüğü |
| Artan işlem esnekliği (kağıtsız işlemler); gelişmiş planlama süreçleri (gerçek zamanlı, daha yüksek ayrıntı düzeyi); azaltılmış parti boyutları; gelişmiş süreç entegrasyonu ve koordinasyonu (lojistik, üretim.); basitleştirilmiş kurulum ve yapılandırma süreçleri | Gelişmiş tedarik zinciri duyarlılığı |

Kaynak: Klötzer (2018: 96)

Tablo 1, CPS uygulamalarının gelişmiş tedarik zinciri yönetimine katkısının altını çizmek için, beklenen faydaları kapsamakta ve bunları gelişmiş tedarik zinciri yönetiminin stratejik hedefleriyle birleştirmektedir (Klötzer , 2018, s. 96):

Endüstri 4.0 teknolojileriyle çalışan bir fabrika, şimdiye kadar bilinen tüm fabrikalardan daha akıllıdır ve yapay cihazlardan (robotlar dahil) daha fazla müdahale gerektirecek ve çalışanların katılımını azaltacaktır. Bununla birlikte, farklı fabrikaların farklı akıllı cihaz konfigürasyonlarına ihtiyacı vardır ve akıllı cihaz geliştirme, bir Endüstri 4.0 fabrikasında üretime sokulmadan önce çok zaman ve para gerektirir. Endüstri 4.0'daki ağ ortamı, esas olarak CPS teknolojisini kullanan bir CPPS platformunu ifade eder. CPPS platformunun oluşturulması, şu anda CPS zorlukları gibi çeşitli koşullarla sınırlı olan karmaşık bir projedir ve dört yönü içerir: (i) Farklı sistemler arasında işbirliği, (ii) CPS modelleme ve model entegrasyonu, (iii) CPS entegrasyonu, (iv) CPS'nin doğrulanması ve test edilmesi (Zhou vd., 2015: 2150-2151).

6.3. Büyük Veri ve Analitik

Nesnelerin interneti ve bulut kullanımının kombinasyonu, farklı ekipmanların birbirine bağlanmasına ve büyük miktarda veri toplanmasına izin verir ve bu da büyük veri depolanmasına neden olur. Büyük veri, sensör okumaları gibi sistemlerden ve nesnelere veri toplanmasından oluşur;

analitik ile Dördüncü Sanayi Devrimi'nin en önemli itici güçlerinden biri ve gelecek için önemli bir rekabet avantajı kaynağı olarak kabul edilir. Asıl önemi, üretebileceği bilgilerden kaynaklanmaktadır. Fabrikanın dijital ikizlerini oluşturmak için büyük veri gereklidir ve daha sonra analitik, üretimi etkileyebilecek olayları gerçekleşmeden önce tanımlayarak gelişmiş tahmin kapasitesi sağlar (Frank vd., 2019: 10).

Büyük veri analitiği ve teknolojileri, birden çok kaynaktan veri toplamayı, kapsamlı veri analizi ve veri analizi sonuçlarına dayalı gerçek zamanlı karar verme yeteneğini teşvik edebilir. Süreci izlemek için imalatta yaygın olarak benimsenmiştir. Ayrıca, büyük veriler arıza tespiti için kullanılır, böylece tahmine dayalı analitik gibi yeni yetenekleri destekler. Veri kalitesi ve nitelikli veri analizi yetenekleri, büyük veri analitiğinin istenen sonuçlarına ulaşmanın anahtarıdır (Koh vd.,2019: 821). Verimliliği ve üretkenliği artırmak için büyük hacimli verilerin kullanılması, büyük veri analitiği ile sağlanır. Büyük veri analitiği, kuruluşların, süreçlerin verimliliğini ve performansını iyileştirmek, esnekliği ve çevikliği artırmak ve ürün özelleştirmesini geliştirmek için büyük hacimli verilerden değer toplamasına yardımcı olur (Ghadge vd., 2020: 4-5).

Waller and Fawcett (2013), SCM veri bilimini, ilgili SCM sorunlarını çözmek ve sonuçları tahmin etmek için, veri kalitesi ve kullanılabilirlik sorunlarını dikkate alarak, çeşitli

disiplinlerden SCM teorisi ile birlikte nicel ve nitel yöntemlerin uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Waller ve Fawcett, 2013: 79). Tedarik zinciri yöneticileri, harcamaları öngörmek, maliyet ve performanstaki eğilimleri belirlemek ve süreç kontrolü, envanter izleme, üretim optimizasyonu ve süreç iyileştirme çabalarını desteklemek için verilere giderek daha fazla bağımlı hale gelmektedir. Veriden yararlanma becerisine sahip olan Google, Amazon gibi işletmeler potansiyel iş modelleri geliştirerek rakiplerinden daha iyi performans göstermektedir. Veriye dayalı stratejilerin benimsenmesi, rekabetçi farklılaşmanın önemli bir noktası olarak değerlendirilmektedir (Mishra vd., 2018: 10). Büyük veri analitiği, modern üretimde veri yönetimi sistemlerinde veri toplama, depolama ve analitiği desteklemek için kritik bir teknolojidir (Bi ve Cochran, 2014: 249). McAfee vd. (2012), veriye dayalı karar verme kullanımında endüstrilerinin ilk üçte birlik kısmında yer alan işletmelerin, rakiplerinden ortalama olarak %5 daha üretken ve %6 daha kârlı olduğunu bulmuştur (McAfee vd., 2012: 6).

6.4. Bulut

Bulut üretimi terimi, internet hizmetleri, web tabanlı uygulama ve sistem yönetimi dahil olmak üzere çeşitli BT paketlerinin bir kombinasyonu ile temsil edilebilir. Lan (2003) bulut tabanlı çözümleri, bilgileri harici sunucularda depolanan ve öncelikle internet üzerinden erişilebilen Web tabanlı bir uygulama olarak tanımlar (Bibby ve Dehe, 2018: 7). Ren vd. (2017), bulut üretimini, daha yüksek ürün kişiselleştirmesi, daha geniş küresel iş birliği, bilgi yoğun inovasyon ve artan pazara yanıt çevikliği için artan talepleri karşılamayı amaçlayan, bulut bilişimi kucaklayan akıllı ağ bağlantılı bir üretim modeli olarak tanımlar. Teknik bir perspektiften bulut üretimi, bulut bilişim, IoT, hizmet bilişim, yapay zeka (AI) ve üretim bilişim teknolojilerinin birleşimidir. Bulut üretim, imalat endüstrisinin üretim odaklı üretimden hizmet odaklı üretime dönüştürülmesine olanak tanıyarak gelecekteki siber-fiziksel üretim için siber bir toplumun şekillenmesine katkıda bulunur (Ren vd., 2017: 501).

Bulut üretim, ağa bağlı, sanal ve çevik üretim gibi en son teknolojileri kapsayan yeni, çok disiplinli bir alandır. Küresel olarak ağa bağlı operasyonlarda değer yaratan bir üretim sürecidir. Küresel tedarik zinciri yönetimi, ürün hizmeti bağlantısı ve dağıtılmış üretim birimlerinin yönetimini içerir. Bulut üretim çatısı altında, üretim kaynakları ve yetenekler akıllıca algılanabilir ve daha geniş internete bağlanabilir ve IoT teknolojileri (örneğin, RFID, kablolu ve kablosuz sensör ağları ve gömülü sistemler) kullanılarak otomatik olarak yönetilebilir ve kontrol edilebilir. Bu kaynaklar ve yetenekler, kullanıcıların sanallaştırma katmanındaki taleplerine göre tamamen paylaşılabilir ve sirküle edilebilir (Hao ve Helo, 2017: 2). Bulut bilişim aracılığıyla, veriler ya özel bulutta ya da genel bulut sunucularında depolanabilir ve bu nedenle bulut bilişim karmaşık karar vermeyi destekleyebilir. Bulut tabanlı üretim, Endüstri 4.0 uygulamasının başarısının

anahtarıdır. Sistem düzenlemesinin ve hizmet ve bileşenlerin paylaşımının önemli olduğu ve modülerleştirme ve hizmet yöneliminden etkilendiği üretim alanında modülerleştirme ve hizmet odaklılık sağlar (Koh vd., 2019: 821).

6.5. Katmanlı üretim ve 3D Baskı

Geleneksel imalat süreçlerinde kullanılan kesme, delme, taşlama ve zımparalama gibi işleme teknikleri, parça ve bileşenlerin üretiminin çıkarma yöntemine dayandığı eksiltmeli imalat olarak adlandırılır. Buna karşılık, 3D baskı, ardışık malzeme katmanları oluşturarak nihai ürünleri oluşturan ve böylece parça ve bileşen montajı ihtiyacını ortadan kaldıran katmanlı üretime dayanır. Katmanlı üretim teknikleri, kuruluşların karmaşık, hafif tasarımlar gibi inşaat avantajları sunan küçük gruplar halinde özelleştirilmiş ürünler üretmelerine yardımcı olacağı için Endüstri 4.0'a önemli bir katkı sağlayacaktır. Yüksek performanslı, merkezi olmayan katmanlı üretim sistemleri, nakliye mesafelerini ve eldeki stokları azaltacaktır (Kamble vd., 2018: 418). 3D baskı, verimliliği çeşitli şekillerde artırabilir. Örneğin, önceden monte edilmiş mekanizmaların 3D baskısı mümkündür ve bu da bazı üretim süreçlerindeki adımların sayısını azaltabilir. Hızlı prototipleme sayesinde tasarım süreçleri kısaltılabilir. Başka şekilde üretilmesi imkânsız olan nesnelere de basılabilir. İmalatta, sınırlı miktarda özel parçaların prototiplenmesi ve üretilmesi için kullanılan ana yöntem, işleme yöntemidir. 3D baskı, işlenmiş plastik ve metal parçalar pazarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Örneğin Boeing, 20.000'den fazla 300 farklı parça için makineyle işlemeyi 3D baskı ile değiştirmiştir (OECD, 2016: 22).

6.6. Robotik

Günümüz pazarlamasında, müşteriler isteklerine hızlı yanıtlar aramaktadır. Bu da işletmelerin sürekli değişen dinamik ortama hızlı bir şekilde yanıt vermek ve tedarik zincirinde çevikliği uygulamak için yapay akıllı sistemlere giriş yapmasına neden olmaktadır. Robotik yapay zekâ tabanlı makine ve sistemler, organizasyonun performansını arttırdığı ve sistemlerin hızlı bir şekilde büyümesine katkıda bulunduğu için işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Robotlar, farklı organizasyonlarda yüzlerce insan kaynağının yerini almakta ve işletmelere maliyet avantajı sağlamaktadır (Panichayakorn ve Jermsittiparsert, 2019: 757). Robotik, birçok imalat endüstrisinde üretim için kullanılmıştır. Modern robotik sistemler, daha esnek, otonom ve akıllıdır, birbirleriyle iletişim kurabilir, iş birliği yapabilir ve hatta öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu da yeni nesil robotik sistemlere -cobot (işbirlikçi robotlar)- yol açar (Koh vd., 2019: 822).

Duong vd.(2020), gıda kalitesi, gıda güvenliği, gıda atıkları, tedarik zinciri verimliliği ve tedarik zinciri analizi dâhil olmak üzere gıda tedarik zincirinin beş ana temasında robotik ve otonom sistemlerin kullanımını analiz etmiştir. Robotik ve otonom sistemlerin rolünün, veri

kullanılabilirliği, siber güvenlik, beceri kapasitesi ve finansal maliyetler, gıda tedarik zincirlerinde robotik ve otonom sistemleri benimsemedeki ana konular olduğunu bulmuştur (Duong vd., 2020). Viale ve Zaurai (2020), robotik süreç otomasyonunun, tedariki operasyonel, organizasyonel ve ilişkisel açıdan etkilediğini öne sürmektedir (Viale ve Zaurai, 2020). Daha akıllı ve otonom robotlar, bilgi işlem performansı; elektromekanik tasarım araçları ve sayısal kontrollü imalat; elektrik enerjisi depolama ve elektronik güç verimliliği; yerel kablosuz dijital iletişimin kullanılabilirliği ve performansı; İnternetin ölçeği ve performansı; küresel veri depolama ve hesaplama gücü alanlarında görülen iyileştirmelerle ortaya çıkacaktır (OECD, 2016: 19).

6.7. Arttırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR)

Sanal gerçeklik (VR) ve arttırılmış gerçeklik (AR), bilgisayar tarafından oluşturulan iki tür ortamdır. VR, Oculus Rift (şimdi Facebook) tarafından geliştirilen ve kulaklıklarla tipik hale getirilenler gibi tamamen farklı sanal, sürükleyici bir dünyadır. AR, Google Glass gibi gerçek dünya üzerinde dijital içeriği katmanlandırır. Sanal gerçeklik, tedarik zincirinin birçok yönünü ve müşteri deneyimlerini önemli ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir ve deneyimlerin interneti olarak adlandırılmıştır. (Druehl vd., 2017: 8). Rejeb vd. (2020), AR'nin depolama, üretim, satış ve dış mekân lojistiği, planlama ve tasarım ve insan kaynakları yönetimi olmak üzere beş ana alanda değer katabileceğini bulmuştur ve işletmelerin AR'yi iş süreçlerini iyileştirmek, operasyonel verimliliği arttırmak ve genel rekabet gücünü arttırmak için potansiyel bir çözüm olarak görmelerini tavsiye etmektedir (Rejeb vd., 2020). Bir sanal gerçeklik tedarik zinciri, üreticilerin ürünlerini üç boyutlu olarak tasarlamasına, tasarımları değerlendirmesine ve yeni ürünler ve müşteri satın alma kararları hakkında kritik kararlar almasına olanak tanır. Bununla birlikte VR'nin tedarik zincirlerinde uygulanması şu avantajları getirebilir (MH&L, 2015):

- Artan yerinde satış yapılandırılmaları ve ek satış fırsatları
- Yüksek çözünürlüklü ve 3-D görseller, müşteriye satın alma kararları vermeden önce gözden geçirme deneyimi sağlar
- Önerilen tasarım veya satın alma seçeneği için parça listesi, bileşenler, teklifler ve fiyatlandırmanın eksiksiz bir 3 boyutlu görseli
- Tasarım, üretim, tedarikçi yönetimi, dağıtım, müşteri teslimi ve kurulumdan tam tedarik zinciri entegrasyonu
- Sipariş karşılama döngüsünde iyileştirilmiş hız, kalite ve basitleştirme;
- Ciddi gelir artışı, karlılık ve üstün müşteri deneyiminin gerçekleştirilmesi

6.8. Simülasyon

Simülasyon, karmaşık ve akıllı üretim sistemlerinin tasarım ve operasyonlarının yanı sıra karar vermeyi optimize etmek için planlama ve keşif modelleri geliştirmek için anahtar bir teknolojidir. Ayrıca şirketlerin riskleri, maliyetleri, uygulama engellerini, operasyonel performans üzerindeki etkiyi ve Endüstri 4.0'a yönelik yol haritasını değerlendirmelerine yardımcı olabilir (De Paula Ferreira vd., 2020: 1). Simülasyon, sektörde birçok yönden daha iyiye ulaşmaya yardımcı olur. Zaman ve kaynaktan israfı azaltır ve üretimde verimliliği artırır. Ayrıca üretkenliği ve geliri arttırmaya yardımcı olur. Simülasyon, ürünlerin tasarımında da önemli bir role sahiptir. Ayrıca teknolojiye karmaşıklık arttıkça, sektörün ihtiyaç duyduğu vasıflı işçiler simülasyon kullanılarak eğitilebilmektedir. Ayrıca imalatın otonom makinelerin ortaya çıkmasıyla iş güvenliği konuları geçmişte olduğundan daha önemli hale geldi. Veriler, üretim ve simülasyonda akıllılık ve zekâ oluşturmaya yardımcı olacak, kavrama ve bilgi çıkarma konusunda veri analitiğine yardımcı olacaktır (Gunal, 2019: 275)

6.9. Sistem Entegrasyonu

Sistem entegrasyonu, yazılım, donanım veya diğer sistemler ve alt sistemler gibi sistem bileşenlerini birbirine bağlamakla ilgilidir. Bu bileşenler birlikte çalışır ve hedeflerine (toplu veya bireyler) göre çözümler sunar. Endüstri 4.0 bağlamında, sistemler genellikle nesnelere, veriler, insanlar, hizmetler ve bunların bağlantı, iletişim, koordinasyon ve iş birliği yapmalarına olanak tanıyan IoT gibi teknolojiler kullanılarak entegre edilir. Üç boyutu bulunmaktadır (Sanchez vd., 2020: 6-7):

- Yatay entegrasyon (şirketler arası entegrasyon): Bu, bireylere veya ortak hedeflere ulaşmak için iki veya daha fazla şirket arasındaki iş birliğine dayanır
- Dikey entegrasyon (şirket içi entegrasyon): Dikey entegrasyon, koordine etmelerine veya işbirliği yapmalarına olanak sağlamak için, iş üretim süreci (BPaaS), uygulama cihazları (SaaS), insanlar, veriler gibi bir kuruluş içindeki sistem bileşenlerini bir araya getirir.
- Uçtan uca Entegrasyon: Uçtan uca entegrasyon, dijital ve gerçek dünyaları, gerçek varlıklar sistemin siber bileşenleriyle etkileşime girebilecek şekilde karıştırır. Örneğin, ağa bağlanan cihazlar buluta veya bir insan makine arayüzü (HMI) kullanarak sistemle iletişim kuran kişilere bilgi gönderebilir.

Sistem entegrasyonunun vizyonu, otomasyon ve bilgi akışı seviyelerini göz önünde bulundurarak mühendislik, üretim, tedarikçiler, pazarlama ve tedarik zinciri operasyonları arasında iş birliğine dayalı bir senaryo oluşturmaktır. Prensipte sistem entegrasyonu, endüstri 4.0 vizyonunu gerçeğe dönüştürmek ve hedeflerine ulaşmak için ilk adımdır; Sistemler bir bütün olarak üretken akış içinde analiz edildiğinden, bu anlamda fiziksel nesnelere

organizasyonunda ve yönetiminde yapısal değişikliklerin yanı sıra bilgi sistemleri ile bağlantıların kurulmasını önerir (Saucedo Martínez vd., 2018: 7).

6.10. Siber Güvenlik

Siber güvenlik, siber ortamı, organizasyonu ve kullanıcının varlıklarını korumak için kullanılacak araçlar, politikalar, güvenlik kavramları, güvenlik önlemleri, yönergeler, risk yönetimi yaklaşımları, eylemler, eğitim, en iyi uygulamalar, güvence ve teknolojilerin toplamıdır. Kuruluş ve kullanıcının varlıkları arasında bağlı bilgi işlem cihazları, personel, altyapı, uygulamalar, hizmetler, telekomünikasyon sistemleri ve siber ortamda iletilen ve / veya depolanan bilgilerin toplamı yer alır. Siber güvenlik, siber ortamdaki ilgili güvenlik risklerine karşı kuruluşun güvenlik özelliklerinin ve kullanıcı varlıklarının elde edilmesini ve sürdürülmesini sağlamaya çalışır. Genel güvenlik hedefleri; kullanılabilirlik, doğruluk ve gizliliği içerir (Von Solms ve Van Niekerk, 2013: 97-98). Thames ve Schaefer (2017), mevcut internet teknolojilerinin, Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseyenler için büyük zorluklar ve barikatlar oluşturacak siber güvenlik ve veri gizliliği sorunları ile boğuşmakta olduğunu, endüstri 4.0'ın kendine özgü güvenlik ve gizlilik zorluklarının yanı sıra geleneksel siber güvenlik sorunlarıyla karşı karşıya kaldığını ve bu zorluklar uygun şekilde ele alınmazsa, Endüstri 4.0'ın gerçek potansiyeline asla ulaşamayabileceğini vurgulamaktadır (Thames ve Schaefer, 2017).

Boyes (2015), tedarik zinciri yöneticilerinin, işletme açısından kritik unsurların fiziksel konumu, bileşenlerin ve iş süreçlerinin karşılıklı bağımlılığı ve tedarik zinciri operasyonlarında yer alan personelin ihtiyaç duyduğu beceriler dahil olmak üzere ilgili teknolojilerin güvenlik açıklarını incelemesi gerektiğini savunmaktadır. Siber esnekliğe ulaşmak, tamamen teknik çözümlerin potansiyel tehdit ve güvenlik açıklarının genişliğini ele alma olasılığının düşük olduğu göz önüne alındığında, güvenliğe bütünsel bir yaklaşım içerecektir (Boyes, 2015: 33). Simon ve Omar (2019), tedarik zinciri koordinasyonunun olmamasının, siber güvenliğe yetersiz yatırım yapılmasına neden olacağını ve bir saldırıdan kaynaklanan daha yüksek dolaylı zararların, daha ciddi yetersiz yatırımla ilişkili olduğunu bulmuştur (Simon ve Omar, 2019: 1). Gupta vd., (2020), Geleneksel siber güvenlik yöntemlerinin, katmanlı üretim tedarik zincirini tehdit eden yeni saldırı vektörleri sınıfını ele alacak şekilde gelişmesi ve ayrıca riskleri ve saldırı tehditlerini ele almaya yardımcı olan mevcut çözümlerin doğasını tartışması gerektiğini iddia etmektedir (Gupta vd., 2020: 47322).

7. Endüstri 4.0 ve Etkileri

Endüstri 4.0'ın önemli olmasının nedenleri, faydalarıdır. Daha esnek hale gelerek ve pazardaki değişikliklere daha kolay tepki vererek üreticilere mevcut zorluklarla yardımcı olur. İnovasyonun hızını artırabilir ve müşteri merkezlidir, bu da daha hızlı tasarım süreçlerine yol açar. Çalışanlar,

üretimin merkezinde koordinatör olabilir ve çalışanların iş-yaşam dengesini iyileştirebilir. Endüstri 4.0, uzun vadede sürdürülebilirdir ve ortaya çıkan herhangi bir zorluğa çözüm bulmaya yardımcı olur (Immerman, 2017). Ayrıca Endüstri 4.0, kendi kendine yapılandırma, kendi kendini izleme ve kendi kendini iyileştirme örnekleri için otonom öz özelliklere sahip akıllı sistemler tarafından yönlendirilen üretim ekosistemlerini mümkün kılacak, benzeri görülmemiş düzeyde operasyonel verimlilik elde etmemize ve üretkenlikte hızlandırılmış büyümeye ulaşmamızı sağlayacak ve makineden insana işbirliği ile simbiyotik ürün gerçekleştirme etrafında dönen yeni gelişmiş üretim ve endüstriyel süreç türleri ortaya çıkacaktır (Thames ve Schaefer, 2017: 2).

Endüstri 4.0, bilgi alışverişini ve tedarik zincirinin entegrasyonunu, teslimat sürelerini ve bilgi bozulmalarını azaltmak için üretimi tedarikçilerle senkronize etmeyi de dikkate alır. Bu entegrasyon aynı zamanda, işletmelerin kaynaklarını iş birliğine dayalı üretimde birleştirmelerine olanak tanıyarak, onların temel yetkinliklerine odaklanmalarına ve endüstri platformlarında ürün yeniliği için yetenekleri paylaşmalarına, daha fazla katma değerli ürün ve tamamlayıcı varlıklar/hizmetler geliştirmek için ortak bir çaba göstermelerine olanak tanır (Frank vd., 2019: 3).

Endüstri 4.0'ın, tüm tedarik zinciri üzerinde birçok etkisi vardır. Tedarikçiler, üreticiler ve müşteriler arasındaki iş birliği, siparişin gönderilmesinden ürünün kullanım ömrünün sonuna kadar tüm adımların şeffaflığını artırmak için çok önemlidir. Masood ve Sonntag (2020), Endüstri 4.0'ın temel faydalarını esneklik, maliyet, verimlilik, kalite ve rekabet avantajı olarak bulmuştur. Benzer şekilde Tjahjono vd. (2017), Endüstri 4.0'ın en net faydalarını, artan esneklik, kalite standartları, verimlilik ve üretkenlik olarak sıralamakta ve Endüstri 4.0 uygulamasından en çok etkilenecek alanların sipariş karşılama ve nakliye lojistiği olduğunu savunmaktadır. Bu, şirketlerin müşteri taleplerini karşılama ve pazara sürekli olarak yeni ürünler ve hizmetler sunarak değer yaratmasına olanak tanıyacak kitlesel özelleştirmeyi mümkün kılacaktır. Dahası, makineler ve insanlar arasındaki iş birliği, özellikle karar vermenin optimizasyonu ile ilgili olarak, gelecekte işçilerin yaşamını sosyal olarak etkileyebilecektir (Tjahjono vd., 2017: 1181; Masood ve Sonntag, 2020).

Verimlilik kazanımlarının ve yeni iş modellerinin olası değer yaratma etkilerinin yanı sıra, Endüstri 4.0'ın bir parçası olarak teknolojinin yayılmasının istihdam üzerinde ne gibi bir etkisinin olacağını değerlendirmek de önemlidir. Temel olarak, teknolojik değişimin istihdam üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olabilir. Bir yandan, dijital teknolojilerin kullanımıyla elde edilen verimlilik kazanımları, işleri güvence altına almaya ve ek gelirle tüketici talebini artırmaya yardımcı olabilirken (tazminat etkisi), yeni üretim teknolojilerinin ve süreçlerinin kullanılması işleri de yok edebilir (artıklık etkileri). Endüstri 4.0'dan kaynaklanan artıklık etkisinin uzun vadede baskın

olacağına ve teknolojik işsizliğe yol açacağına dair endişeler vardır (Hungerland vd.,2015: 18). Nispeten kesin olan şey, birçok işyerindeki iş profillerinin değişmeye ayarlanmış olmasıdır. Bu, eğitim ve çalışan gelişimi alanlarında da büyük dönüşüm ve uyum önlemlerinin gerekli olacağı anlamına gelir (Roblek vd., 2016,: 3).

Karre vd. (2017) Endüstri 4.0'ın, insan işgücünün gerekli becerilerinde ve niteliklerinde bir değişikliğe neden olduğunu belirtmektedir. İşçiler, günlük işlerinde makinelerle iş birliği yapmak gibi karmaşık ve dolaylı görevlerde çok daha büyük bir paya sahip olacaklardır ve bu eğilim, üç sonuca yol açmaktadır: işçilerin (1) yapılandırılmamış sorunları çözmesi, (2) yeni bilgilerle çalışması ve (3) bir dizi rutin olmayan manuel görevi yerine getirmesi. Sürekli yeni bilgilerle uğraşmak ve büyük miktarda veri ve makinelerle iletişim bu nedenle gelecekteki iş görevlerinin temel unsurlarıdır. Endüstriyel şirketler, Endüstri 4.0 teknolojilerini (örn. CPPS) uygulayarak demografik değişim veya artan etnik çeşitlilik gibi yaklaşmakta olan bazı zorlukların üstesinden gelebilir (Karre vd., 2017: 208-209). Öte yandan ürünlerin kişiselleştirilmesi, kritik iş yeteneklerinin bir parçasıdır ve esnek ve özelleştirilmiş üretim sistemleri gerektirir. Esnek, küçük seri üretimin artan karmaşıklığı nedeniyle, bireyselleştirilmiş üretim maliyetleri tipik olarak seri üretim sistemlerinden daha yüksektir. Endüstri 4.0 teknolojisi, oldukça özelleştirilmiş montaj sistemleri gerektiren siber-fiziksel sistem ilkelerinin kullanımıyla yeni üretim stratejileri sağlar. Bu sistemlerin nihai amacı, seri üretim maliyetlerinde esnek özelleştirilmiş üretimi kolaylaştırmaktır (Ivanov, 2018: 303).

Endüstri 4.0'ı etkinleştiren teknolojilerin uygulanmasının, tedarik zinciri boyunca kapsamlı tedarik zinciri entegrasyonunun yanı sıra bilgi paylaşımı ve şeffaflıktan kaynaklanan bütünsel bir yaklaşım sağlayarak SCM'de önemli performans iyileştirmeleri getirmesi beklenmektedir. Dahası, bu teknolojiler; süreç entegrasyonu, dijitalleştirme ve otomasyon sağlayarak ve yeni analitik yetenekler getirerek tedarik, üretim, envanter yönetimi ve perakende gibi bireysel tedarik zinciri süreçlerinde büyük performans iyileştirmelerine izin verir (Fatorachian ve Kazemi, 2020: 1). Kayıkcı (2018)' göre lojistik maliyeti, teslimat süresi, gecikme, envanter, güvenilirlik ve esneklik konuları açısından, lojistikte büyük bir dijitalleşme potansiyeli mevcuttur. Dijitalleşmenin çevresel etkileri, en çok atık, kirlilik ve sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerinde etkilidir. Dijitalleşmenin toplum için ekonomiden çok daha fazla değer yaratması beklenmekte ve bu durumda işletmeler, düzenleyiciler ve politika yapıcıların iş birliğine ihtiyaç duyulmaktadır (Kayıkcı, 2018: 788-789).

Mohammed (2018), Endüstri 4.0'ın işgücü, lojistik maliyetlerinin ve envanter yanlışlıklarının azaltılması, iş süreçlerinin basitleştirilmesi ve lojistik süreçlerinde şeffaflık gibi çok sayıda fayda sağladığının altını çizmektedir (Mohamed, 2018: 261). Bununla birlikte Pereira ve Romero (2017), Endüstri 4.0'ın etkilerini altı ana

alana ayırmaktadır: (1) Sanayi, (2) ürünler ve hizmetler, (3) iş modelleri ve pazar, (4) ekonomi, (5) çalışma ortamı ve (6) beceri geliştirme (Pereira ve Romero, 2017: 1212-1213). Benzer şekilde Waibela vd., (2017), Endüstri 4.0'ın üretim üzerindeki etkilerini teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel olarak dört gruba ayırmıştır (Waibela vd., 2017: 733-734):

- Teknik etkiler: Akıllı fabrika üretim sisteminin amacı, aynı anda birden fazla ürün türünü işlemektir. Konveyör bandı, farklı üretim yollarını destekleyen kapalı bir döngüdür. Akıllı üretim sistemlerinde makineler, bilgi sistemleri, ürünler ve insanlar arasında yüksek hızlı bir ağ sistemi aracılığıyla bir bağlantı vardır. Bununla birlikte, akıllı üretim sistemleri, birden çok ürünü üretmek için otomatik olarak yeniden yapılandırılabilir.
- Ekonomik etkiler: Sistemin ilk uygulaması, geleneksel bir açık döngü üretim sistemini uygulamaktan daha pahalıdır. Moore yasasına göre, bilgi teknolojilerinin maliyeti sürekli olarak düşecek, ancak kalite sürekli olarak artacaktır. Esneklik, kullanıma hazır kaynaklar ve enerji verimliliği nedeniyle özelleştirmenin operasyonel maliyeti sabit üretim hattına göre düşük olacaktır. Tek seferlik ürünler akıllı bir üretim fabrikasında üretilebilir.
- Çevresel etkiler: Tüm üretim sürecinin akıllı bir şekilde yönlendirilmesi sayesinde, akıllı üretim sistemleri israfı, aşırı üretimi ve enerji tüketimini azaltır.
- Sosyal etkileri: Akıllı fabrikalar için rutin görevleri yürütmek için işçiye gerek yoktur. İnsanlar yeni görevlerle karşı karşıyadır. Siber-fiziksel sistemler birbirleriyle iletişim kurabildiğinden, bazı belirli alanlarda doğrudan iletişim azalacaktır. Sonuç olarak, M2M (makineden makineye) iletişim artacaktır. Bilgi teknolojisi sektörü, ağ programlarını tasarlamak, geliştirmek, yürütmek ve sürdürmek için yetenekli insanlara ihtiyaç duyacaktır. Akademikler ve eğitimciler büyük talep göreceğinden eğitim ve öğretim sektöründe yeni iş olanakları yaratılacaktır.

8. Sonuç

İlk kez 2011 yılında Almanya'da tanıtılan ve dördüncü sanayi devrimini ifade eden Endüstri 4.0, üretimin dijitalleştirilmesinin bir sonucu olarak, giderek İngiltere, Amerika ve İtalya gibi daha fazla ülke tarafından benimsenmektedir. Endüstri 4.0 işletmelere, birlikte çalışabilirlik, bilgi şeffaflığı, teknik yardım ve merkezi olmayan karar verme gibi özellikler getirmektedir ancak Endüstri 4.0 sadece işletmeleri dijitalleştirmenin teknik boyutu ile sınırlı değildir; değer ve tedarik zincirlerinin tamamen yeni bir organizasyonu ve ağ koordinasyonudur. Endüstri 4.0, endüstriyel ağ bağlantılı bilgi uygulaması için açık ve akıllı bir üretim platformunun inşasını amaçlamaktadır. Dördüncü sanayi devrimi, bugün kısmen

mevcuttur ve tamamen gerçekleşmesinin 15-20 yıl alması beklenmektedir. Bununla birlikte Endüstri 4.0 nesnelere interneti, siber fiziksel sistemler, büyük veri, bulut, artırılmış gerçeklik gibi birçok teknolojinin kullanımını içerir ve bu teknolojiler farklı yeteneklere sahiptir.

Öte yandan Endüstri 4.0'ın uygulanması üretim işletmelerine birçok fayda sağlayacaktır. Endüstri 4.0'ın temel faydalarını, esneklik, maliyet, verimlilik, kalite ve rekabet avantajı olarak sıralamak mümkündür. Bununla birlikte Endüstri 4.0'ın diğer faydaları arasında, süreç entegrasyonu, dijitalleştirme ve otomasyon sağlayarak ve yeni analitik yetenekler getirerek tedarik, üretim, envanter yönetimi ve perakende gibi bireysel tedarik zinciri süreçlerinde büyük performans iyileştirmeleri; şirketlerin müşteri taleplerini karşılama ve pazara sürekli olarak yeni ürünler ve hizmetler sunarak değer yaratmasına olanak tanıyacak kitlesel özelleştirmeler; işgücü maliyetlerinin ve envanter yanlışlıklarının azaltılması, iş süreçlerinin basitleştirilmesi; israfı, aşırı üretimi ve enerji tüketimini azaltma bulunur. Dolayısıyla, Endüstri 4.0 konsepti modern çağa uymak ve benzersiz rekabet avantajı elde etmek için işletmelerin vakit kaybetmeden uygulaması gereken bir konsept olarak devam etmektedir.

Kaynakça

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. (2018). Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Generation Computer Systems*, 86, 614-628.
- Affia, I., Yani, L., & Aamer, A. (2019). Factors affecting IoT adoption in food supply chain management. *9th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Vietnam*, 1-10.
- Ardito, L., Petruzzelli, A., Panniello, U., & Garavelli, A. (2019). Towards industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 25(2), 323-346.
- Aryal, A., Liao, Y., Nattuthurai, P., & Li, B. (2018). The emerging big data analytics and IoT in supply chain management: A systematic review. *Supply chain Management: An International Journal*, 25(2).
- Bag, S., Telukdarie, A., Pretorius, J., & Gupta, S. (2018). Industry 4.0 and supply chain sustainability: Framework and future research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 1-41.
- Bar, K., Herbert-Hansen, Z. N. L., & Khalid, W. (2018). Considering industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. *Production Engineering*, 12(6), 747-758.
- Beamon, B. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294.
- Bell, E. (2020). Cognitive automation, business process optimization, and sustainable industrial value creation in artificial intelligence data-driven internet of things systems. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 8(3), 9-15.
- Bi, Z., & Cochran, D. (2014). Big data analytics with applications. *Journal of Management Analytics*, 1(4), 249-265.
- Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels-case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- Boyes, H. (2015). Cybersecurity and cyber-resilient supply chains. *Technology Innovation Management Review*, 5(4).
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37-44.
- Brun, L., Gereffi, G., & Zhan, J. (2019). The lightness of industry 4.0 lead firms: Implications for global value chains. İçinde: Patrizio Bianchi, Clemente R. Durán & Sandrine Labory (Ed.), *Transforming Industrial Policy for the Digital Age*. Edward Elgar Publishing.
- Chen, C. (2019). Value creation by SMEs participating in global value chains under industry 4.0 trend: Case study of textile industry in Taiwan. *Journal of Global Information Technology Management*, 22(2), 120-145.
- Cimini, C., Pezzotta, G., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2018). Industry 4.0 technologies impacts in the manufacturing and supply chain landscape: An overview. *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, 803, 109-120.
- Da Silva, V., Kovaleski, J., & Pagani, R. (2018). Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: A literature review. *Technology Analysis & Strategic Management*. doi:10.1080/09537325.2018.1524135, 1-17.
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-225.
- Dalmarco, G., Ramalho, F., Barros, A., & Soares, A. (2019). Providing industry 4.0 technologies: The Case of a production technology cluster. *The Journal of High Technology Management Research*, 30(2), 100355.
- De Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868, 1-17.
- Druehl, C., Carrillo, J., & Hsuan, J. (2017). Technological innovations: Impacts on supply chains. *George Mason University School of Business Research Paper*, 18-7.
- Duong, L., Al-Fadhli, M., Jagtap, S., Bader, F., Martindale, W., Swainson, M., & Paoli, A. (2020). A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 355-364.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2020). Impact of industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning & Control*, 1-19.
- Frank, A., Dalenogare, L., & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.

- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686.
- Glas, A., & Kleemann, F. (2016). The impact of industry 4.0 on procurement and supply management: A conceptual and qualitative analysis, *International Journal of Business and Management Invention*, 5(6), 55-66.
- Gunal, M. (2019). Simulation for the better: The future in industry 4.0. İçinde: Murat M. Gunal (Ed.), *Simulation for Industry 4.0*, 275–283.
- Gupta, N., Tiwari, A., Bukkapatnam, S., & Karri, R. (2020). Additive manufacturing cyber-physical system: Supply chain cybersecurity and risks. *IEEE Access*, 8, 47322-47333.
- Gupta, S., Modgil, S., Gunasekaran, A., & Bag, S. (2020). Dynamic capabilities and institutional theories for industry 4.0 and digital supply chain. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 1-19.
- Hahn, G. (2020). Industry 4.0: A supply chain innovation perspective. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1425-1441.
- Hao, Y., & Helo, P. (2017). The role of wearable devices in meeting the needs of cloud manufacturing: A case study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 45, 168-179.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 3928-3937.
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- What is Supply Chain Management? (2020). (Erişim: 03.12.2020), https://cscmp.org/CSCMP/Certify/Fundamentals/What_is_Supply_Chain_Management.aspx?WebsiteKey=0b3f453d-bd90-4121-83cf-172a90b226a9
- The Smarter Supply Chain of the Future. (2009). (Erişim: 03.12.2020), <https://www.ibm.com/downloads/cas/AN4AE4QB>
- Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution – Guide to Industrie 4.0. (2020). (Erişim: 03.12.2020), <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- Is Virtual Reality Coming to the Supply Chain? (2015). (Erişim: 03.12.2020), <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/22051135/is-virtual-reality-coming-to-the-supply-chain>
- Market Size of Industry 4.0: in Italy from 2017 to 2019 with a Forecast for 2020 to 2022. (2020). (Erişim: 03.12.2020), <https://www.statista.com/statistics/1057237/industry-four-point-zero-market-size-italy/>
- Hungerland, F., Quitzau, J., Zuber, C., Ehrlich, L., Growitsch, C., Rische, M. ve Haß, H. (2015). The digital economy, strategy 2030-- wealth and life in the next generation. Berenberg Bank und Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (HWWI), Hamburg, No: 21e,
- <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/121322/1/837681693.pdf>.
- Immerman, G. (2017). Why Industry 4.0 Important?, (Erişim: 03.12.2020), <https://www.machinemetrics.com/blog/why-industry-4-0-is-important>
- Ivanov, D. (2018). New drivers for supply chain structural dynamics and resilience: Sustainability, industry 4.0, self-adaptation, structural dynamics and resilience in supply chain risk management. *International Series in Operations Research & Management Science*, 265. Springer, Cham. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-69305-7_10, 293-313.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). New disruption risk management perspectives in supply chains: Digital twins, the ripple effect, and resilience, *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 337-342.
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2019). Digital supply chain, smart operations and industry 4.0. *Global Supply Chain and Operations Management*, 481-526.
- Janvier-James, A. (2012). A new introduction to supply chains and supply chain management: Definitions and theories perspective. *International Business Research*, 5(1), 194-207.
- Jayaram, A. (2016). Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT. *2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), IEEE*, 89-94.
- Jones, A., Muşat, M., Corpodean, H., & Petris, G. (2020). Sustainable industrial value creation, automated production systems, and real-time sensor networks in big data-driven smart manufacturing. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 8(2), 35-41.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. (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.
- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., & Ramsauer, C. (2017). Transition towards an industry 4.0 state of the leanlab at Graz University of technology, *Procedia Manufacturing*, 9, 206-213.
- Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia manufacturing*, 21, 782-789.
- Klötzer, C. (2018). Bridging two worlds: How cyber-physical systems advance supply chain management. *Mobility in a Globalised World 2018*, 86.
- Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. (2019). The fourth industrial revolution (industry 4.0): Technologies' disruption on operations and supply chain management. *International Journal of Operations and Production Management*, 39 (6-7-8), 817-828.
- Liu, B., & De Giovanni, P. (2019). Green process innovation through industry 4.0 technologies and supply chain coordination. *Annals of Operations Research*, 1-36.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Lukac, D. (2015). The fourth ICT-based industrial revolution industry 4.0 – HMI and the case of CAE /CAD Innovation with

- EPLAN P8. *23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, IEEE, 835-838.
- Lummus, R., & Vokurka, R. (1999). Defining supply chain management: A historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 1-7.
- Lummus, R., Duclos, L., & Vokurka, R. (2003). Supply chain flexibility: Building a new model. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 4(4), 1-13.
- Luthra, S., & Mangla, S. (2018). evaluating challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2018). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>, 1-108.
- Mari, S., Lee, Y., & Memon, M. (2015). complex network theory-based approach for designing resilient supply chain networks. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 21(3), 365-384.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261.
- McAfee, A., Brynjolfsson, E., Davenport, T., Patil, D., & Barton, D. (2012). Big data: The management revolution. *Harvard Business Review*, 90(10), 60-68.
- Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., & Zacharia, Z. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25.
- Mishra, D., Gunasekaran, A., & Papadopoulos, T. (2018). Big data and supply chain management: A review and bibliometric analysis. *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 313-336.
- Mohamed, M. (2018). Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256-265.
- Mourtzis, D., Vasilakopoulos, A., Zervas, E., & Boli, N. (2019). Manufacturing system design using simulation in metal industry towards education 4.0. *Procedia Manufacturing*, 31, 155-161.
- Müller, J., & Voigt, K. (2018). Sustainable industrial value creation in SMEs: A comparison between industry 4.0 and made in China 2025. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 5(5), 659-670.
- Naslund, D., & Williamson, S. (2010). What is management in supply chain management? A critical review of definitions, frameworks and terminology. *Journal of Management Policy and Practice*, 11(4), 11-28.
- OECD (2016). Enabling the next production revolution: The Future of manufacturing and services –interim report. (Erişim: 03.12.2020), <https://www.oecd.org/mcm/documents/Enabling-the-next-production-revolution-the-future-of-manufacturing-and-services-interim-report.pdf>
- Panichayakorn, T., & Jermstiparsert, K. (2019). Mobilizing organizational performance through robotic and artificial intelligence awareness in mediating role of supply chain agility. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(5), 757-768.
- Pereira, A., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214.
- Pfohl, H.-C., Yahsi, B., & Kurnaz, T. (2015). The impact of industry 4.0 on the supply chain. In: Kersten, Wolfgang Blecker, Thorsten Ringle & Christian M. (Ed.), *Innovations and strategies for logistics and supply chains: Technologies, business models and risk management* (pp. 31–58). Berlin: epubli GmbH
- proceedings of the Hamburg International Conference of, Logistics (HICL), 20, epubli GmbH, Berlin, 31-58.
- Posada, J., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E., Eisert, P., Döllner, J., & Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26-40.
- Prause, M., & Weigand, J. (2016). Industry 4.0 and object-oriented development: Incremental and architectural change. *Journal of Technology Management and Innovation*, 11 (2), 104-110.
- PWC (2016). Industry 4.0-Enabling digital operations: Self assessment. (Erişim:03.12.2020), <https://i40-self-assessment.pwc.de/>; <https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/>
- Queiroz, M., Pereira, S., Telles, R., & Machado, M. (2019). Industry 4.0 and digital supply chain capabilities: A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities. *Benchmarking: An International Journal*, 1-22.
- Radanliev, P., De Roure, D., Page, K., Nurse, J., Montalvo, R., Santos, O., Maddox, L. T., & Burnap, P. (2020). Cyber risk at the edge: Current and future trends on cyber risk analytics and artificial intelligence in the industrial internet of things and industry 4.0 supply chains. *Cybersecurity*, 3, 1-21.
- Rana, K., & Sharma, S. (2019). Supply chain performance measurement: A scale development. *IUP Journal of Business Strategy*, 16(1), 88-111.
- Ranta, K. (2020). What is industry 4.0 and what does it mean for manufacturing?. (Erişim: 03.12.2020), <https://www.marklogic.com/blog/industry-4-0-mean-manufacturing/>
- Rejeb, A., Keogh, J., Wamba, S., & Treiblmaier, H. (2020). The potentials of augmented reality in supply chain management: A state-of-the-art review. *Management Review Quarterly*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11301-020-00201-w>.
- Ren, L., Zhang, L., Wang, L., Tao, F., & Chai, X. (2017). Cloud manufacturing: Key characteristics and applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(6), 501–515.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, 6(2), 1-11.
- Sanchez, M., Exposito, E., & Aguilar, J. (2020). Industry 4.0: Survey from a system integration perspective. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-25.
- Saucedo Martínez, J., Pérez Lara, M., Marmolejo Saucedo, J., Salais Fierro, T., & Vasant, P. (2018). Industry 4.0 framework

- for management and operations: A review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(3), 789-801.
- Schrauf, S., & Berttram, P. (2016). Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. (Erişim: 03.12.2020), <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2016/industry-4-digitization/industry40.pdf>
- Shafiq, S., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual engineering object / virtual engineering process: A specialized form of cyber physical system for industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146 – 1155.
- Simon, J., & Omar, A. (2019). Cybersecurity investments in the supply chain: Coordination and a strategic attacker. *European Journal of Operational Research*, 1-29.
- Szozda, N. (2017). Industry 4.0 and its impact on the functioning of supply chains. *Logforum*, 13.
- Thames, L., & Schaefer, D. (2017). Industry 4.0: An overview of key benefits, technologies, and challenges. In: Thames L. & Schaefer D. (Ed.), *Cybersecurity for Industry 4.0*. New York: Springer.
- https://doi.org/10.1007/978-3-319-50660-9_1, 1-33.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain?. *Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238.
- Viale, L., & Zaurai, D. (2020). Impact of digitalization on procurement: The case of robotic process automation. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 21(3), 185-195.
- Von Solms, R., & Van Niekerk, J. (2013). From information security to cyber security. *Computers and Security*, 38, 97-102.
- Waibela, M., Steenkamp, L., Moloko, N., & Oosthuizen, G. (2017). Investigating the effects of smart production systems on sustainability elements, *Procedia Manufacturing*, 8, 731 – 737.
- Waller, M., & Fawcett, S. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84.
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0 – innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769.
- Zhou, K., Taigang, L., & Lifeng, Z. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152.

Extended Summary

Purpose

This study focuses on the effects of basic Industry 4.0 technologies such as the Internet of Things, cloud, cyber-physical systems, augmented reality, 3D printing, big data, autonomous robots in the scope of production and supply chain. The study also aims to create a broad theoretical framework about the effects of Industry 4.0 in this context.

Literature Review

The future of manufacturing organizations is transformed globally with the development of a more digitalized environment where value chains are interconnected and production systems become increasingly intelligent and automated. Industry 4.0 is a high-tech strategy that represents the Fourth Industrial Revolution after the advent of mechanization, electrification and computerization, and includes progress in automation, automatic data exchange and digitalization of production. Industry 4.0, first introduced in Germany in 2011, is increasingly being adopted by more countries such as England, America and Italy as a result of the digitization of production. However, many studies including the effects of Industry 4.0 have been published in the literature. Industry 4.0 and supply chain relationships are analyzed from different perspectives such as sustainable industrial value creation, innovation perspective, digital, supply chains, risk analysis, and global value chains. This study aims to contribute to the literature by creating a broad theoretical framework about the effects of Industry 4.0 in this context while evaluating the effects of Industry 4.0 technologies and Industry 4.0 in the scope of production and supply chain in detail.

Approach

For the purpose of the study, firstly the supply chain and supply chain management concepts were explained, then the supply chains and digitalization, the concept of Industry 4.0 and the basic Industry 4.0 technologies were examined, the study was concluded by explaining the effects of industry 4.0 on production and supply chains.

Findings

Industry 4.0 includes the use of many technologies such as internet of things, cyber-physical systems, big data, cloud, and augmented reality, and these technologies have different capabilities. However, Industry 4.0 is not limited to the technical dimension of digitizing businesses; is a completely new organization and network coordination of value and supply chains.. Industry 4.0 brings features such as interoperability, information transparency, technical assistance and decentralized decision making to enterprises and aims to build an open and intelligent production platform for industrial networked information application. The fourth industrial revolution is partially present today and is expected to take 15-20 years to fully occur.

The findings obtained from the study show that Industry 4.0

will provide many benefits to production enterprises. It is possible to list the main benefits of Industry 4.0 as flexibility, cost, efficiency, quality and competitive advantage. Furthermore, other benefits of Industry 4.0 include: Process integration; Major performance improvements in individual supply chain processes such as procurement, manufacturing, inventory management and retail by enabling digitization and automation and introducing new analytical capabilities; mass customization that will allow companies to meet customer demands and create value by continuously introducing new products and services to the market; reducing labor costs and inventory inaccuracies; simplification of business processes; reducing waste, overproduction and energy consumption. Therefore, the Industry 4.0 concept continues as a concept that businesses should implement without wasting time in order to adapt to the modern age and gain a unique competitive advantage.