



DeepL

Subscribe to DeepL Pro to translate larger documents.

Visit www.DeepL.com/pro for more information.

Bu derginin güncel sayısına ve tam metin arşivine Emerald Insight adresinden ulaşabilirsiniz:

<https://www.emerald.com/insight/1741-038X.htm>

Endüstri 4.0 uygulamasının tedarik zincirleri üzerindeki etkisi

Abhijeet Ghadge *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Merkezi, Cranfield School of Management, Cranfield, Bedfordshire, Birleşik Krallık*

Merve Er Kara

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye Hamid

Moradlou *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Merkezi, Cranfield School of Management, Cranfield, Bedfordshire, İngiltere ve*

Mohit Goswami

Operasyon Yönetimi Grubu, Hindistan Raipur Yönetim Enstitüsü, Hindistan

Shashidhara Krishna Iyer Jagannath'ın desteğine teşekkür eder. Proje kısmen IMPRESS'in IMPRESS/P8 98/27/18-19/ICSSR numaralı hibesi tarafından desteklenmiştir.

Özet

Amaç - Bu çalışma, Endüstri 4.0 uygulamasının tedarik zincirleri üzerindeki etkisini analiz etmeyi ve Endüstri 4.0 paradigması için potansiyel itici güçleri ve engelleri dikkate alarak bir uygulama çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Tasarım/metodoloji/yaklaşım - Endüstri 4.0 uygulamasının temel itici güçlerini ve engellerini stratejik, organizasyonel, teknolojik ve yasal ve etik olmak üzere dört iş boyutu altında incelemek için eleştirel bir literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra, Endüstri 4.0 uygulamasının tedarik zinciri parametreleri üzerindeki etkisini anlamak için, bu teknolojik dönüşüm için hem belirlenen itici güçleri hem de engelleri içeren bir sistem dinamiği modeli geliştirilmiştir. Simülasyon modelinin sonuçları, tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanması ve hızlandırılması için kavramsal bir model geliştirmek için kullanılmaktadır.

Bulgular - Endüstri 4.0'ın gelecekteki tedarik zincirleri için yeni zorluklar ve fırsatlar getireceği öngörülmektedir. Çalışma, çeşitli uygulama zorluklarını tartışmış ve Endüstri 4.0 konseptinin tedarik zincirlerine etkili bir şekilde uyarlanması ve geçişi için bir çerçeve önermiştir.

Araştırma sınırlamaları/çıkarımları - Simülasyon modelinin sonuçları, tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanması ve hızlandırılması için kavramsal bir model geliştirmek üzere kullanılmıştır.

Pratik çıkarımlar - Çalışmanın, tedarik zinciri yöneticilerine, Endüstri 4.0'ı kendi ağlarında uygulamanın zorluklarını anlamada fayda sağlaması beklenmektedir.

Özgünlük/değer - Simülasyon analizi, Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi açısından incelenmesini sağlamakta ve bu teknolojik dönüşümün hem itici güçlerinin hem de engellerinin analize dahil edilmesine olanak tanımaktadır. Bu ilişki için ampirik bir temel sağlamanın yanı sıra, tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0 uygulaması için yeni bir kavramsal çerçeve önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler Endüstri 4.0, Dijital tedarik zincirleri, Sistem dinamikleri, Dijitalleşme, Uygulama

Bildiri türü Kavramsal bildiri

1. Giriş

Son birkaç yılda, bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızlı gelişimi ve tedarik zincirlerine entegrasyonu, dördüncü sanayi devriminin - "Endüstri 4.0" - ortaya çıkmasına yol açmıştır (Dalenogare vd., 2018; Frank vd., 2019). Teknolojik yenilikler ve değişen müşteri gereksinimleri nedeniyle iş dünyasında artan bir rekabet söz konusudur. İş ekosistemlerindeki bu dönüşümsel değişim, gelişen bir ekosistemdeki yeni zorluklara uyum sağlamak ve entegre olmak için operasyonel modelleri/çerçeveleri ve yönetim stratejilerini derinden etkileyecektir (Barreto vd., 2017). Endüstri 4.0'ın başlangıcından bu yana, giderek artan sayıda şirket ilkeleri benimsemiş ve

Alındı 6 Ekim 2019
Revize 4 Ocak 2020
Kabul tarihi 10 Ocak 2020



performans ve üretkenliği artırmak için yeni sanayi devriminin teknolojilerini kullanmaktadır (Barreto vd., 2017; Rachinger vd., 2018). Endüstri 4.0'ın en önemli gücü, toplumun birçok yönü üzerindeki yüksek etkisidir. Tipik bir kullanıcı perspektifinden bakıldığında, Endüstri 4.0'ın hem profesyonel hem de evsel ve sosyal alanlar üzerindeki etkisi daha net görülebilmektedir. Akıllı evler, akıllı şehirler ve ofisler ve e-sağlık sistemleri, yeni paradigmanın dünyada nasıl bir devrim yaratacağına dair olası senaryolardan yalnızca birkaçıdır (Bandyopadhyay ve Sen, 2011). Benzer şekilde, Endüstri 4.0'ın en belirgin etkisinin endüstriyel alanda görülmesi beklenmektedir.

üretim ve yönetim, lojistik ve iş süreçleri yönetimi alanlarında kullanılmaktadır (Strange ve Zucchella, 2017). Dijitalleşme, tedarik zinciri (TZ) sistemlerinin günümüzün son derece dinamik ve rekabetçi iş ortamında ayakta kalabilmesi için bir zorunluluktur (Wu vd., 2016; Pereira ve Romero, 2017). Yeni nesil dijital TZ'lerin etkin yönetimi için şirketlerin iş süreçlerinde gelişen teknolojileri benimsemeleri ve değer zincirlerinde artan veri akışını yönetmeleri gerekmektedir.

Endüstri 4.0 trendinin ardından, SC ağlarında *Endüstri 4.0* uygulamasına ilişkin çalışmalara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Endüstri 4.0 dönüşümü için çerçeveler ve yol haritaları üzerine bazı çalışmalar mevcut olsa da (örn. Sarvari vd., 2018; Ghobakhloo, 2018), AVM'ler gibi karmaşık sistemleri de içeren genel bir sistem yaklaşımı eksiktir. Bu çalışma, bu belirgin araştırma boşluğuna katkıda bulunmak amacıyla, AVM bağlamında Endüstri 4.0'a adaptasyon ve dönüşümü incelemektedir. İyi bir başlangıç noktası, bu teknolojik dönüşüm için potansiyel itici güçleri, başarı faktörlerini ve engelleri belirlemektir (Kamble vd., 2018). Bu nedenle, ilk olarak, Endüstri 4.0 paradigmasının benimsenmesine yönelik ana itici güçler ve engeller literatür yardımıyla belirlenmiş ve ardından stratejik, organizasyonel, teknolojik ve yasal ve etik olmak üzere dört iş boyutu altında kategorize edilmiştir (Luthra ve Mangla, 2018). Bu faktörler arasındaki ilişki de iki uygulayıcının yardımıyla değerlendirilmiş ve şekillendirilmiştir. Bu faktörlerin Endüstri 4.0 uygulamasını ve kritik SC değişkenlerini nasıl etkilediğine dair iyi geliştirilmiş ve kapsamlı bir anlayış sağlamak için analitik bir bakış açısı gereklidir. Bu nedenle, ikinci olarak, Endüstri 4.0'ın farklı engellerinin ve itici güçlerinin SC dinamikleri üzerindeki etkilerini dahil ederek Endüstri 4.0'a uyarlanmış bir SC'yi modellemek için bir sistem dinamiği (SD) yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuçlar, geleneksel AVM'ler ile Endüstri 4.0'a uyarlanmış AVM'ler karşılaştırılarak yorumlanmıştır. AVM performansının davranışını incelemek için radyo frekansı tanımlama cihazı (RFID) ve bulut teknolojisi dahil edilmiştir. Teorik arka plan bilgisi ve çeşitli pratik bilgiler sağlamanın yanı sıra, literatürün SC perspektifinden incelenmesi ve modelin ölçülebilir sonuçları, SC ağlarında Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanması için çok aşamalı genel bir çerçevenin geliştirilmesine yol açmıştır.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır. Bölüm 2, ilgili literatürü ve araştırmanın arka planını üç alt bölüm altında sunmaktadır: (1) Endüstri 4.0 kavramına ve ilgili teknolojilere genel bakış, (2) Endüstri 4.0'ın AVM'ler üzerindeki etkisi ve (3) Endüstri 4.0'ın uygulanması için temel itici güçler ve engeller. Bölüm 3'te araştırma metodolojisi açıklanmaktadır. Bölüm 4'te, Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin tedarik zincirleri üzerindeki etkisini yakalamak için önerilen SD modeli, bu paradigmanın farklı itici güçleri ve engelleri de dikkate alınarak tartışılmaktadır. Bölüm 5'te simülasyon modelinin sonuçları sunulmakta ve tedarik zinciri düzeyinde Endüstri 4.0 uygulaması için kavramsal bir çerçeve önerilmektedir. Son olarak, çalışmanın teori ve uygulamaya katkısı, kısıtlamalar ve gelecekteki olası araştırma yönleriyle birlikte tartışılmaktadır.

2. Literatür taraması ve arka plan

2.1 Endüstri 4.0'a Genel Bakış

Endüstri 4.0, bilgi ve iletişim teknolojilerinin geliştirilmesini ve iş süreçlerine entegre edilmesini kapsamaktadır (Dalenogare vd., 2018; Wagire vd., 2019). Endüstri 4.0'ın geniş vizyonu, aşağıdakiler için çerçeveler ve/veya mimariler gerektirmektedir

fiziksel varlıkları ve dijital teknolojileri bir siber-fiziksel sistemde (CPS) birbirine bağlamaktadır (Sarvari vd., 2018). Nesnelerin interneti (IoT) bu Dördüncü Sanayi Devriminde kritik bir rol oynamaktadır ve endüstriyel IoT (IIoT) olarak da adlandırılmaktadır (Haddud vd., 2017; Ghobakhloo, 2018). Sadece IIoT değil, bulut bilişim, yapay zeka, bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM), akıllı kurumsal kaynak planlaması (I-ERP), programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC'ler), otomasyon/endüstriyel robotlar, sensörler/aktüatörler, eklemeli üretim, simülasyon ve

diğer yenilikçi veri alışverişi modelleri tedarik zincirlerinin dijitalleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır

(Ghobakhloo, 2018; Dalenogare vd., 2018). Endüstri 4.0, çeşitli cihazlardan, sensörlerden ve araçlardan veri sağlayarak üretim ve hizmet operasyonlarında özelleştirme, çeviklik ve hız sağlayan otomatik sistemleri kapsamaktadır (Deloitte, 2014). Bu da yeni ürün tasarımı, prototip oluşturma ve geliştirme, uzaktan kontrol, hizmetler ve teşhis, öngörücü ve önleyici bakım, izlenebilirlik, gerekli sağlık izleme sistemleri, planlama, inovasyon, çeviklik ve gerçek zamanlı uygulamalar gibi birçok alanda yeni yetenekler ortaya çıkarmaktadır (Strange ve Zucchella, 2017; Sarvari vd., 2018). Endüstri 4.0 tarafından hayata geçirilen yetenekler, ürünlerin özelleştirilmesi, gerçek zamanlı veri analizi, artan görünürlük, otonom izleme ve kontrol, dinamik ürün tasarımı ve geliştirme ve gelişmiş verimlilik gibi şirketlere önemli faydalar sağlamaktadır (Dalenogare vd., 2018). Temel Endüstri 4.0 teknolojileri ve bunların iş uygulamaları aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmaktadır.

Büyük veri analitiği. Verimliliği ve üretkenliği artırmak için büyük hacimli verilerin kullanılması büyük veri analitiği ile mümkün olmaktadır (Wamba vd., 2017). Büyük veri analitiği, süreçlerin verimliliğini ve performansını iyileştirmek, esnekliği ve çevikliği artırmak ve ürün özelleştirmeyi geliştirmek için kuruluşların büyük hacimli verilerden değer elde etmesine yardımcı olur (Wu vd., 2016; Ghobakhloo, 2018). Birden fazla sistemden veri toplanması ve değerlendirilmesi, gerçek zamanlı ve hızlı bir şekilde gerçeğe dayalı karar vermeyi sağlamak için norm haline gelecektir (McKendrick, 2015).

Otonom robotlar. Günümüzde robotik teknolojisi imalat, lojistik, e-ticaret, eğitim vb. çok geniş bir alanda kullanılmaktadır (Demetriou, 2011). Robotlar nihayet birbirleriyle etkileşime girmeye, operatörlerle güvenli ve uyum içinde, yan yana çalışmaya ve operatörlere yardımcı olmaya başlamıştır. Gelecekte bu robotların daha ekonomik olması ve şu anda kullanılanlardan daha geniş bir yetenek yelpazesine sahip olması beklenmektedir.

Bulut teknolojisi. Çok sayıda iş sisteminden, cihazdan, ekipmandan ve sensörden toplanan büyük miktarda veri, bulut sistemleri olarak bilinen uzak sunucularda depolanır. Bulut sistemleri sayesinde büyük veri yığınlarına gerçek zamanlı erişim ve bu verilerin geri alınması mümkün olmaktadır. Kurumsal departmanlar, değer zincirleri, tesisler ve şirket/kuruluş sınırları arasında gelişmiş veri paylaşımına ihtiyaç vardır. Bulut bilişim ortamları hızla gelişmekte ve daha fazla veri odaklı ve akıllı SC faaliyetlerini teşvik etmektedir (Oztemel ve Gursev, 2018).

Simülasyon. Büyük veri ve bulut sistemlerinden işlenen ve toplanan veriler, ürün tasarımı, geliştirme, üretim ve SC ağı ile ilgili tüm olası senaryoları analiz etmek için sanal bir modele besleme olarak kullanılabilir (Zhong vd., 2017). Simülasyon, mevcut gerçek zamanlı verilerden yararlanmak ve gerçek çalışma dünyasını sanal bir ekosistemde simüle etmek için iş modellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Simülasyon yoluyla süreç testi ve optimizasyonu, insanların gerçek fiziksel dünyadaki değişikliklerin uygulanmasından önce bile iş değişimini, riski, kurulum süresini azaltmasına ve gelecekteki operasyonlar ve hizmetler için kalite kontrolünü geliştirmesine olanak tanır (PwC, 2016).

Endüstriyel nesnelerin interneti. Endüstri 4.0'da IIoT platformu, farklı ekipman ve sistemlerle iletişim ve etkileşim halinde olan merkezi bir kontrol sistemi olacaktır. IIoT, merkezi olmayan analitik ve karar verme ile gerçek zamanlı izlenebilirlik ve takip sağlar (Gunasekaran vd., 2016). IIoT sayesinde, şirketler arası uyumlu işbirliği, tamamen otomatikleştirilmiş değer zincirlerini mümkün kılacak ve böylece şirketlerin işlevsel ve ticari yeteneklerini artıracaktır (Hahn, 2014; Manavalan ve Jayakrishna, 2019).

Katmanlı Üretim. Katmanlı üretim ve üç boyutlu (3D) baskı, katman katman 3D nesneler üretmek için kullanılır. Endüstri 4.0 ile birlikte bu yenilikçi üretim teknolojileri, üretim avantajları sunan özelleştirilmiş terzi yapımı ürünlerin küçük parti boyutlarında üretimi için yaygın olarak kullanılacaktır (McKendrick, 2015; Ghadge vd., 2018).

Artırılmış gerçeklik. Artırılmış gerçeklik tabanlı sistemler kullanılarak bir depoda veya üretim hattında bir yerleşim planı tasarlamak ve onarım talimatlarını mobil veya diğer uzaktan kumanda cihazları aracılığıyla iletmek gibi çeşitli hizmetler sağlanabilir (Vaidya

vd., 2018). Bu sistemler şu anda ilk aşamalarında; ancak gelecekte kuruluşlar iş prosedürlerini ve karar alma süreçlerini iyileştirmek için artırılmış gerçeklikte çok daha geniş bir atılım yapacaktır (BCG perspektifleri, 2016).

İş zekası (BI). İş zekası (BI), farklı kaynaklardan elde edilen iş verilerini toplamak, analiz etmek, depolamak ve sunmak için kullanılan teknolojik platformlardan oluşur (Mulcahy, 2007). Ham iş verilerini anlamlı ve değerli bilgi ve içgörülere dönüştürerek karar almayı destekler.

Siber güvenlik. Endüstri 4.0'ın daha geniş bir ölçekte uygulanmasıyla birlikte, siber güvenlik tehditlerinde muhtemel bir artış söz konusudur (Ghadge vd., 2019). Güvenli, güvenilir iletişimin yanı sıra sofistike kimlik ve erişim yönetimi de söz konusu olabilir (Tjahjono vd., 2016). Siber güvenlik, Endüstri 4.0 sistemlerinin sürdürülebilirliği için temel bir gerekliliktir; bu nedenle, siber güvenlik stratejileri şirketlerin bilgi teknolojisi sistemlerine entegre edilmelidir (Deloitte, 2017; Oztemel ve Gursev, 2018).

Endüstri 4.0'ın temel karakteristik özellikleri, hem yatay hem de dikey sistemlerin işbirliği ve entegrasyonudur. Dikey entegrasyonda, bilgi ve iletişim teknolojisi (ICT), zemin seviyesindeki kontrolden üretim, operasyon ve yönetim seviyelerine kadar organizasyonun farklı hiyerarşik seviyelerine entegre edilmektedir (Dalenogare vd., 2018). Bu dikey entegrasyon ağı, talep değişimine veya stok seviyelerindeki dalgalanmalara ve arızalara yanıt vermek için üretimde siber-fiziksel sistemlerin kullanılmasını sağlar. Yatay entegrasyonda ICT, bir SC ağı içindeki farklı oyuncular (bazen rakipler) arasında bilgi alışverişi yapmak için kullanılır. Tüm paydaşlarla kusursuz bir işbirliği, entegrasyon ve veri alışverişi için bu sistemlerin entegrasyonu karmaşık bir senaryodur (Hahn, 2014). Endüstri 4.0 uygulamalarının hayata geçirilmesi maliyetlerin düşürülmesine, üretkenliğin, verimliliğin ve esnekliğin artırılmasına ve ürün özelleştirmesinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

2.2 Endüstri 4.0'ın tedarik zincirleri üzerindeki etkisi

Önceki bölümde tartışıldığı üzere, Endüstri 4.0 birçok gelişmiş araç ve teknolojiyi kullanarak geleneksel endüstriyel süreçlerin yeniden tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Tedarik zincirleri, operasyonlarında dijitalleşme, otomatikleşme ve çevikleşme yolunda büyük bir adım atmaktadır. Günümüzün dijital tedarik zinciri ağları, yeni ürün geliştirme, üretim, tedarik, planlama, lojistik ve pazarlama dahil olmak üzere tedarik zincirlerinin çeşitli aşamalarında verimli, şeffaf, uyarlanabilir ve esnek sistemler geliştirmek için birçok farklı teknoloji kullanmaktadır. Endüstri 4.0'ın etkileri, AVM'lerin farklı aşamalarında ve ayrıca AVM yönetimi (SCM) stratejilerinde hissedilebilir; örneğin, entegre akış ve malzeme ve ürünlerin artan izlenebilirliği sayesinde daha hassas tahmin ve planlama, tedarikçilerle gerçek zamanlı bilgi paylaşımı ve senkronizasyon ve akıllı depolama ve araç yönlendirme sistemleri sayesinde gelişmiş tedarikçi performansı (Hofmann ve Ruësch, 2017; Ghobakhloo, 2018).

Dijitalleşmeden kaynaklanan bozulma, şirketlerin SC ağlarını tasarlama biçimlerini yeniden düşünmelerini gerektiriyor. E-ticaret platformlarının sağladığı şeffaflık ve nereden alışveriş yapılacağı, neyin ne zaman satın alınacağına ilişkin çok sayıda seçeneğe kolay erişim, tedarik zincirlerindeki rekabeti artırmaktadır. Özellikle IoT, araçların konumunun ve hızının uzaktan ve gerçek zamanlı olarak izlenmesi, bozulabilir ürünlerin sıcaklık sensörleri aracılığıyla durumu, makinelerin durumu ve performansı gibi çok çeşitli fırsatlar sunarak AVM'lerin dönüşümünde önemli bir role sahiptir (Manavalan ve Jayakrishna, 2019). SC arasında artan bağlantı

paydaşlar ve paydaş işbirliğinin artan önemi, Endüstri 4.0 uygulamasının AVM ağı düzeyindeki etkisinin değerlendirilmesini gerektirmektedir (Tjahjono vd., 2017). Frank ve diğerleri (2019) *akıllı AVM'yi* tedarikçiler, perakendeciler, müşteriler ve ortaklarla dijital platformları kapsayan Endüstri 4.0'ın bir boyutu olarak tanımlamaktadır. AVM ortakları arasında artan bilgi paylaşımı ve operasyonların senkronizasyonu, toplam maliyetleri azaltmaya ve bir bütün olarak AVM'lerin verimliliğini ve çevikliğini artırmaya yardımcı olmaktadır (Frank vd., 2019; Ghobakhloo ve Fathi, 2019). AVM ağı boyunca gelişen şeffaflık ve işbirliği aynı zamanda aşağıdakilere de yol açmaktadır SC üyeleri arasında artan güven ve daha güçlü ilişkiler.

Yüksek düzeyde organize edilmiş ara bağlantılar ve malzeme, ekipman ve SC parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolü de dahil olmak üzere Endüstri 4.0 özellikli kabiliyetler, değer zincirinin genel performansının iyileştirilmesine ve risklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Luthra ve Mangla, 2018). Endüstri 4.0 teknolojilerinin dahil edilmesi, bu ağlardaki iş modellerinde ve yönetim stratejilerinde de dönüşüme yol açmaktadır (Arnold vd., 2016; Ghobakhloo, 2018). Tedarik zincirlerinde dijital dönüşümü tetikleyen gereksinim ve eğilimlerin yanı sıra, gelişen iş ortamı ve dijital dönüşüm eğiliminin bir sonucu olarak yeni engeller ve riskler de ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan bazıları veri eksikliği, bilgi güvenliği riski, nitelikli işgücü eksikliği vb. olarak sıralanabilir (Barreto vd., 2017; BRICS İş Konseyi, 2017; Deloitte, 2017). Sonuç olarak, şirketlere başarılı ve sağlam Endüstri 4.0'a uyarlانmış tedarik zincirleri geliştirme ve sürekli gelişen teknoloji ve pazarlara hızla uyum sağlama konusunda rehberlik edecek hem kavramsal çerçevelere hem de ampirik çalışmalara ihtiyaç vardır.

2.3 Endüstri 4.0'ın temel itici güçleri ve engelleri

Endüstri 4.0'daki hızlı büyümeye rağmen, Endüstri 4.0'ın uygulanmasına yönelik potansiyel itici güçlerin ve engellerin belirlenmesiyle ilgili çalışmalar eksiktir (Lu, 2017). Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi ve kullanılmasına yönelik itici güçleri ve engelleri anlamak için bir literatür taraması yapılmıştır. İncelemeye dayanarak, Endüstri 4.0 uygulaması için ana itici güçler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Çeviklik. Tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0 uygulaması, gerçek zamanlı planlama ve kontrol sağlayarak şirketlerin hızla değişen koşullara yanıt vermede esnek ve çevik olmalarına olanak tanır; örneğin talep, arz ve fiyatlardaki değişikliklere daha hızlı tepki vererek planlama döngülerini ve donmuş dönemleri azaltır (Oztemel ve Gursev, 2018). İş analitiği yaklaşımları, müşteri davranışı, teslimat süresi ve üretim çıktısı gibi gelecekteki olayları ve kalıpları tahmin etme yeteneği sağlar. Gerçek zamanlı teslimat yönlendirmesi ve takibi de lojistik operasyonlarında esneklik, verimlilik ve çeviklik sağlar (Barreto vd., 2017).

Özelleştirme. Mikro segmentasyon, kitlesel özelleştirme ve gelişmiş çizelgeleme uygulamaları gibi teknikler, şirketlerin müşterilere çok seçenekli paketler sunmasına, yüksek değer için son mil sorunlarını verimli bir şekilde çözmesine, drone teslimatı gibi yenilikçi, dijitalleştirilmiş teslimat ve dağıtım tekniklerini benimseyerek müşterilerin siparişlerini daha hızlı bir şekilde teslim etmesine ve müşteri beklentilerinin ötesine geçmesine yardımcı olmaktadır (Zawadzki ve Zywicki, 2016; Hofmann ve Rüsch, 2017; Ghobakhloo, 2018).

Doğruluk. Endüstri 4.0 teknolojileri, daha bilinçli kararlar almak için gerçek zamanlı, tutarlı ve doğru veriler sağlar. Dolayısıyla, yeni nesil performans yönetim sistemleri değer zinciri boyunca gelişmiş uçtan uca görünürlük sağlayacaktır (Miragliotta vd., 2018). Bu bilgiler, müşteri hizmetleri ve sipariş karşılama düzeyi gibi önemli üst düzey performans göstergelerinden, lojistik ağındaki kamyonların tam konumu gibi derinlemesine süreç verilerine kadar uzanmaktadır.

Verimlilik. SC verimliliği, fiziksel görevlerin, planlama, kontrol ve bilgi alışverişi süreçlerinin otomasyonu ile artırılmaktadır (Pereira ve Romero, 2017). Çok sayıda şirket, özellikle lojistik sistemlerinde otomatik teknolojiler kullanmaktadır. Bu teknolojiler arasında malzeme taşıma robotları ve vinçleri, otomatik palet taşıma sistemleri, sevkiyat

izleme, insansız otonom araçlar, tam otomatik depolar vb. (Vaidya vd., 2018; Xu vd., 2018). Şirketler, kamyon kullanımını optimize etmek ve nakliye esnekliğini artırmak için şirketler arası nakliye optimizasyonu yoluyla tesislerin işbirliğini ve paylaşımını tercih etmektedir. Tüm SC ağı kurulumu, iş gereksinimlerine ideal bir uyum sağlamak için sürekli olarak optimize edilmektedir.

Endüstri 4.0 uygulamalarının hayata geçirilmesi için bazı yıldırıcı direniş güçleri, engeller de vardır. Bu engeller dört iş boyutu altında sınıflandırılabilir: organizasyonel doğası, yasal ve etik konular, stratejik bakış açısı ve teknolojik boyut (Luthra ve Mangla, 2018). Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki en yaygın engeller aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Finansal kısıtlar. Finansal kısıtlar, Endüstrinin benimsenmesinde önemli bir zorluktur. 4.0 gelişmiş modern bir altyapının geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir sürecin yenilikleri ile ilgilidir (Theorin vd., 2017; Nicoletti, 2018). Odak kuruluşun teknik yetkinliği, yatırım ölçeğini etkileyen birincil vurgudur. Bununla birlikte, ekonomik perspektif henüz başlangıç aşamasındadır; dijital yatırımlarda maliyet-fayda analizi ve parasal kazanımlara ilişkin bu netlik eksikliği, Endüstri 4.0'ın SC bağlamında uygulanması için zorunlu bir zorluktur (Arnold vd., 2016).

Yönetim desteği eksikliği. Endüstri 4.0 dönüşümsel değişiklikleri hızlıdır ve yeterli beceri geliştirme ve eğitim gerektirir; bu da yüksek düzeyde yönetim desteği olmadan gerçekleştirilmesi zordur (Gököl vd., 2017). Endüstri 4.0'ı başlatmanın en önemli gerekliliği, değer zinciri ağının tüm unsurlarının dijitalleştirilmesi yoluyla işlevler arası işbirliğinden oluşmaktadır (Ras vd., 2017).

Değişime karşı direnç. Sektörler Endüstri 4.0 teriminden emin değildir ve bu terime aşına değildir ve dijital dönüşümün faydalarından habersizdir, bu nedenle benimseme konusunda isteksizlik söz konusudur (Mueller vd., 2017b; Theorin vd., 2017). Operasyonel ve yönetim sistemleri, iş ağlarının ve pazarların küresel olarak genişlemesiyle birlikte daha karmaşık hale gelmektedir. En son teknolojik yeniliklerin yanı sıra küresel verilerin yönetilmesine yönelik yetkinliklerin eksikliği şirketlerin Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme konusundaki tereddütlerini artırmaktadır (Ras vd., 2017).

Uzmanlık eksikliği. Literatür, lojistik ve AVM'lerde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin etkilerini anlamak için uygulayıcılar ve akademisyenler tarafından organize ve yüksek odaklı çalışmalar yapılması çağrısında bulunmaktadır (Almada-Lobo, 2015; Hofmann ve Ruësch, 2017). Endüstri 4.0'ın benimsenmesi için itici güçleri, faydaları, uygulama sorunlarını ve engelleri göz önünde bulundurarak Endüstri 4.0 odaklı tedarik zincirleri ve ilgili yeni yönetim yaklaşımları geliştirmek için çerçeveler oluşturmaya yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır (Hermann vd., 2016).

Yasal konular. Değer zinciri boyunca gerçekleşen büyük veri işlemleri siber güvenlik riskini de beraberinde getirmektedir; bu nedenle, gizlilik ve güvenlik konularının Endüstrinin benimsenmesinde dikkate alınması gerekmektedir.

4.0 (Mueller vd., 2017a; Kamble vd., 2018). Herhangi bir dijital dönüşüm veya zayıf altyapı ve internet bağlantısının benimsenmesi, girişiminin önündeki önemli engellerdir (Bedekar, 2018).

Hükümet politikalarının ve desteğinin eksikliği. Hükümetler çoğu ülkede dijital dünya için gerekli altyapıyı (internet ve iletişim sistemleri gibi) sağlamaktadır. Ancak, Sanayi 4.0'ın sonuçlarına ilişkin netlik eksikliği (örneğin 5G ağının uygulanması ve Sanayi 4.0 için faydaları) nedeniyle sanayi altyapısının değiştirilmesinde bir yol haritası eksikliği söz konusudur (BRICS İş Konseyi, 2017).

Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamaya çalışan kuruluşların karşılaştığı, Endüstri 4.0 alanında yetersiz araştırma ve geliştirme uygulamaları, altyapı eksikliği, düşük kaliteli veri, dijital kültür eksikliği ve ortaklar arasında güven eksikliği gibi başka engeller de bulunmaktadır (Wang vd., 2016; Luthra ve Mangla, 2018). Endüstri 4.0'ın hem şirket hem de AVM düzeyinde uygulanmasına ilişkin literatürün kapsamlı bir incelemesine ve iki deneyimli uygulayıcı ile yapılan görüşmelere dayanarak, AVM'lerde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki ana engeller ve itici güçler Tablo I'deki gibi tablolaştırılmıştır. Kusursuz bir dijital dönüşüm için

AVM yöneticilerinin, Endüstri 4.0 uygulamasına yönelik hem itici güçlerini hem de engellerini göz önünde bulundurarak Endüstri 4.0'a yönelik anlayış ve tutumlarını yenilemeleri gerekmektedir.

Tedarik zincirleri
için Endüstri
4.0

675

3. Araştırma metodolojisi

Keşifsel çalışmada iki aşamalı bir araştırma yaklaşımı izlenmiştir. İlk olarak, AVM bağlamında Endüstri 4.0'ın itici güçlerini ve engellerini belirlemek için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. AVM'lerde Endüstri 4.0 uygulamasını incelemek için ikincil veri kaynakları kullanılmıştır; örneğin bilimsel makaleler, akademik makaleler, dergiler, beyaz kitap makaleleri, iş raporları, danışmanlık firmalarının raporları, alan uzmanlarının blogları, web seminerleri ve teknik videolar. Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin en yaygın itici güçleri ve engelleri belirlenmiş ve dört iş boyutu altında kategorize edilmiştir: kurumsal, yasal ve etik, stratejik ve teknolojik (Tablo I). Geliştirilen tablo, nicel model için bir temel olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada, bu dijital dönüşüm için itici güçlerin ve engellerin etkilerini dahil ederek Endüstri 4.0'a uyarlanmış bir AVM'yi modellemek için bir SD yaklaşımı kullanılmıştır. SD metodolojisi, farklı senaryolar altında karmaşık ve dinamik sistemleri modellemedeki yüksek kabiliyeti nedeniyle seçilmiştir (Campuzano ve Mula, 2011).

SK yaklaşımı, sistem düşüncesine dayanır ve karmaşık sistemlerin bütünsel değerlendirmesi için simülasyon modellerinin geliştirilmesini destekler (Ghadge vd., 2013). Bir SD modelinin geliştirilmesi, bir problemin nicel temsile dönüştürülmesi ve ardından simülasyonun gerçekleştirilmesi için aşamalı bir süreçtir (Akkermans ve Dellaert, 2005; Golroudbary ve Zahraee, 2015). SD yaklaşımında, ilk olarak problem tanımlanır ve mevcut bilgilere dayanarak sistemin kapsamı belirlenir. Ardından, sistemin temel değişkenlerini, değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkileri ve geri bildirim yapılarını içeren bir nedensel döngü diyagramı (CLD) geliştirilerek sistem kavramsallaştırılır (Bala vd., 2017). CLD'ler, çeşitli etki eden değişkenler arasındaki bağlantıyı yansıtarak söz konusu sistemin yapısını ortaya koymaktadır (Georgiadis vd., 2005). Bunlar, oklarla birbirine bağlanan çeşitli değişkenlerden ve çeşitli nedensel döngüler ve zincirler oluşturan etki bağlantılarından (çizgiler) oluşur. Bir etki bağlantısının kutupsallığı nedensel etkinin yönünü temsil eder (Qiu vd., 2015). CLD daha sonra bilgisayar tabanlı simülasyon için bir stok ve akış diyagramına dönüştürülür. Stok ve akış diyagramları

İş Dünyası boyutlar	Sürücüler	Engeller
Organizasyonel	(1) Artan verimlilik (2) Maliyet azaltma (3) Daha yüksek kalite (4) Çeviklik (5) Yük dengeleme ve stok azaltma	(1) Finansal kısıtlamalar (2) Yönetim desteği eksikliği (3) Değişime karşı direnç (4) Dijital vizyon ve strateji eksikliği (5) Uzmanlık eksikliği (6) Karmaşık ağ sistemleri
Yasal ve etik	(1) Monoton işlerin azaltılması (2) Çevresel etkinin azaltılması	(1) Yasal konular (2) Koordinasyon ve işbirliği ile ilgili sorunlar (3) Veri gizliliği ve güvenliği sorunları
Stratejik	(1) Yeni İş Modelleri (2) Rekabet gücünün artırılması için yeni değer teklifleri	(1) Profil oluşturma ve karmaşıklık sorunları (2) Hükümetin politika ve destek eksikliği (3) Araştırma ve geliştirme eksikliği (4) Belirsiz ekonomik faydalar (5) Dijital kültür eksikliği
Teknolojik	(1) Şeffaflık	(1) Dijital altyapı eksikliği (2) Kötü veri kalitesi ve yönetimi

Tablo I.
Etkenler ve engeller

AVM'lerde Endüstri
4.0'ın
benimsenmesi için

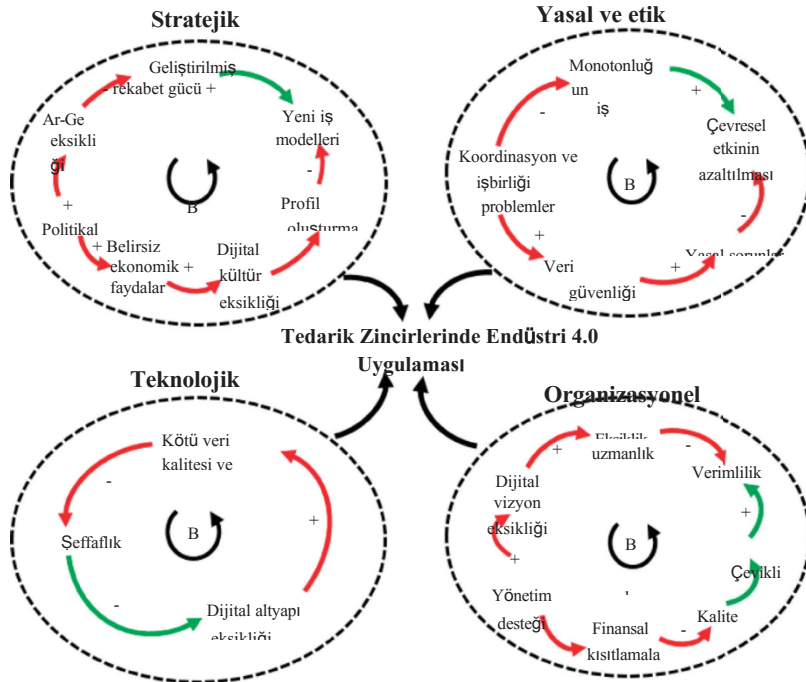
Stok, akış ve yardımcı değişkenleri kullanarak sistemlerin matematiksel gösterimleri. SD modelleri geliştirmek ve simülasyon çalışmaları yapmak için Vensim, Anylogic, DYNAMO, iThink ve Powersim gibi çeşitli ticari paketler bulunmaktadır. Bu çalışmada, CLD'lerin, stok ve akış diyagramlarının geliştirilmesi ve simülasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi için Vensim ticari yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ilk olarak, belirlenen engellerin ve itici güçlerin AVM'lerde Endüstri 4.0'ın uygulanması üzerindeki etkisini kavramsallaştırmak için, aşağıdaki unsurları içeren bir CLD geliştirilmiştir

farklı etkileyen değişkenler arasındaki karşılıklı ilişki. Bu değişkenler [Tablo 1](#)'deki kategorizasyona paralel olarak dört farklı döngü (stratejik, yasal ve etik, teknolojik ve organizasyonel) altında temsil edilmiştir.

Daha sonra, bu faktörler daha geniş bir SC sistemine entegre edilerek kapsamlı bir CLD geliştirilmiştir. Bu CLD, iki stok ve akış diyagramı geliştirmek için kullanılmıştır: geleneksel bir AVM ve Endüstri 4.0'a uyarlanmış bir AVM. Bu modeller, AVM dinamiklerinin davranışını analiz etmek ve Endüstri 4.0'ın AVM'lerde uygulanmasına ilişkin içgörüler sağlamak için çalıştırılmıştır. Simülasyon modelinin bulgularının yanı sıra literatür taraması da Endüstri 4.0'ın AVM'lerde uygulanmasına yönelik genel bir çerçeve geliştirmek için kullanılmıştır.

4. Önerilen SK modeli Bu bölümde, Endüstri 4.0 uygulanırken SK dinamiklerinin davranışını araştırmak için bir SK modeli geliştirilmiştir. SK modelini sunmadan önce, Endüstri 4.0'ın farklı itici güçlerinin ve engellerinin etkilerini anlamak önemlidir. Bu nedenle, [Bölüm 2.3](#)'te tanımlanan faktörler arasındaki karşılıklı ilişkileri temsil etmek için bir ön CLD geliştirilmiştir ([Şekil 1](#)). [Şekil 1](#)'de, AVM'lerde Endüstri 4.0 uygulamasının itici güçleri ve engelleri dört nedensel döngü altında temsil edilmektedir; stratejik, yasal ve etik, teknolojik ve



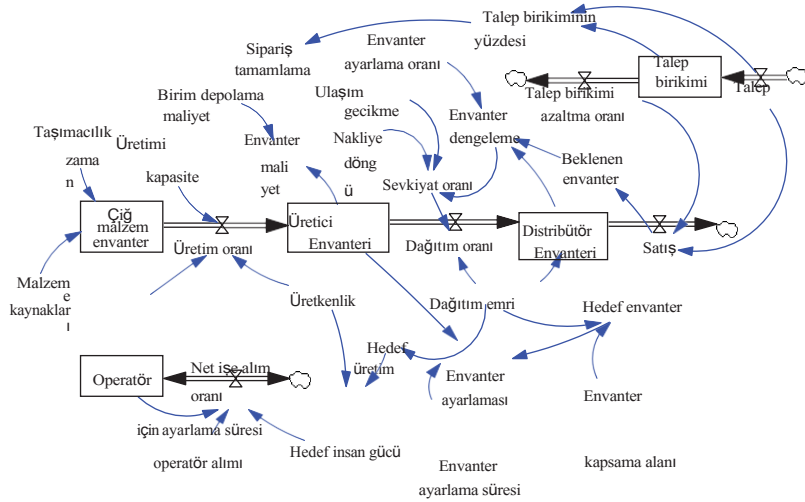
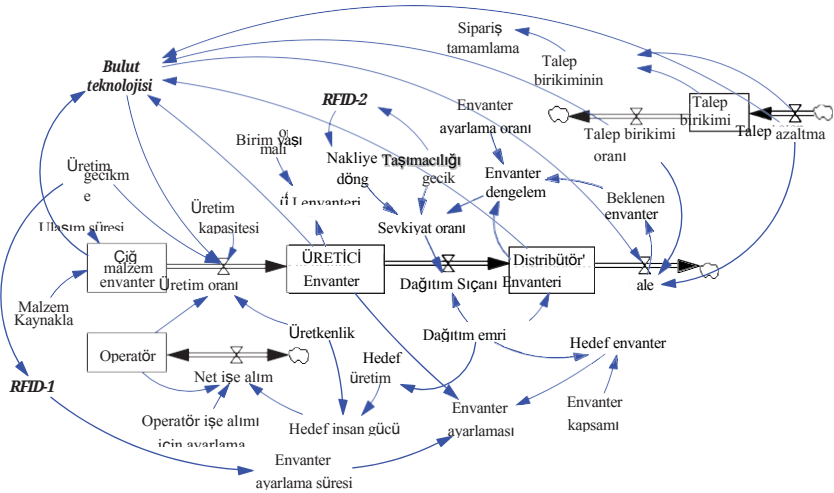
Şekil 1. Endüstri 4.0 için potansiyel engelleri ve itici güçleri gösteren ön CLD

Tedarik zincirleri için Endüstri 4.0

677

Daha sonra bu diyagram, geleneksel ve Endüstri 4.0'a uyarlanmış AVM'ler arasında bir karşılaştırma yapmak için iki farklı stok ve akış diyagramına dönüştürülmüştür. **Şekil 3** geleneksel bir AVM'nin stok ve akış diyagramını, **Şekil 4** ise aynı AVM'nin iki önemli Endüstri 4.0 teknolojisinin (bulut bilişim ve RFID) eklenmesinden sonraki halini temsil etmektedir. Endüstri 4.0 özellikli



Şekil 3.
Stok ve akışiçin diyagram
geleneksel SCŞekil 4.
Endüstri
4.0'a
uyarlanmış
bir SC için
stok ve akış
diyagramı

AVM'ler, bir AVM'nin dinamikleri, benimsenen Endüstri 4.0 yeteneklerine dayalı olarak AVM operasyonlarındaki iyileşmeyi değerlendirerek yeniden yakalanır. Simüle edilen yetenekler arasında bulut teknolojinin kullanımı yoluyla envanter yönetiminde veri kullanımı ve RFID teknolojisi tarafından sağlanan envanter ve ürünlerin görünürlüğü ve izlenebilirliği yer almaktadır.

Gerçek zamanlı bilgi paylaşımı ve gelişmiş görünürlük, AVM operasyonlarına dahil edilmiş ve envanter seviyeleri, dağıtım oranı ve sipariş karşılama gibi AVM değişken denklemlerine dahil edilmiştir. Çalışma, Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin AVM'ler üzerindeki etkisine odaklandığından, model, kritik performans ölçütlerindeki değişiklikleri izlemek için beş farklı kademeye ayrılmıştır; hammadde envanteri, üretici envanteri, operatör, distribütör envanteri ve talep birikimi.

Gerçek iş ortamının daha iyi bir temsilini sağlamak için, ikinci modeldeki tanımlanmış matematiksel denklemler ve parametreler, bu teknolojinin benimsenmesinin tanımlanmış itici güçlerini ve engellerini de dikkate almaktadır. Belirlenen itici güçler ve engeller doğrudan stok ve akışta (birikimler ve oranlar) kullanılamaz; ancak değişkenlerin bir parçası olarak

modellemede dikkate alınmıştır. Örneğin, *çeviklik itici gücü envanter ayarlama oranı ile ilişkilidir*; *finansal kısıtlama engeli ise birim depolama maliyeti ile ilişkilidir*. Değişkenler ve parametreler, teknolojik dönüşüm için itici ve dirençli güçlere göre ayarlanır.

Tedarik zincirleri
için Endüstri
4.0

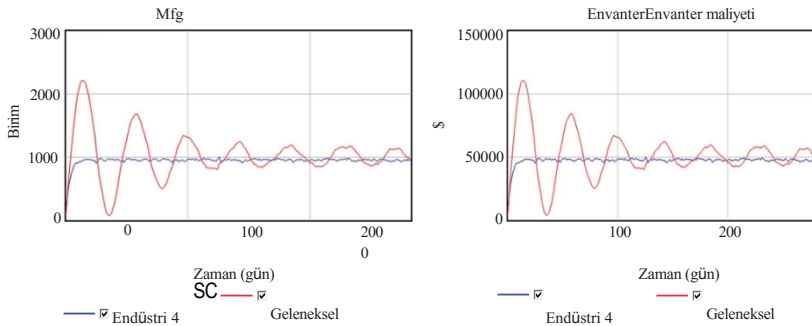
5. Sonuçlar ve çerçevenin geliştirilmesi

679

Geleneksel ve Endüstri 4.0'a uyarlanmış SC modellerini simüle etmek için Vensim PLE kullanılmıştır.

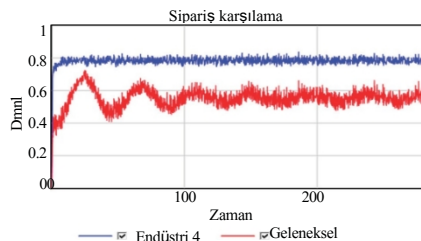
Üreticinin envanter seviyesi, envanter maliyeti ve sipariş karşılama çok önemli SC performans ölçütleridir; bu nedenle, farklı teknoloji seviyelerine sahip bu iki model temel olarak bu boyutlara göre karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları **Şekil 5** ve **Şekil 6**'da verilmiştir. **Şekil 5**'ten de görülebileceği gibi sonuçlar, bulut destekli envanter yönetimi uygulamaları ve RFID etiketlerinin kullanımı ile geleneksel sisteme kıyasla envanter seviyelerinde iyileşme ve envanter maliyetinde azalma olduğunu göstermektedir. Geleneksel SC modelinde, üreticinin envanteri, kötü envanter yönetiminden kaynaklanan süreçteki istikrarsızlık nedeniyle salınımlı bir eğri gösterir. Oysa RFID ve bulut teknolojisinin sisteme dahil edilmesiyle, SC ağındaki talep, sipariş, sevkiyat ve üretim çıktısının sürekli bilgi paylaşımı nedeniyle envanter stabilize edilir. Her iki teknoloji de operasyonel performansı optimize etmek için verilerin kullanılmasına olanak tanır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin sağladığı artan görünürlük ve çeviklik, esnek, çevik, sağlam ve sürdürülebilir AVM'lerin sağlanmasında önemli bir role sahiptir. RFID ile (IoT için bir ön koşul olarak), değer zinciri boyunca şeffaflık da söz konusudur. RFID etiketlerinin tüm ürünlere uygulanmasıyla, doğru tahmin, üretim planlaması ve lojistik strateji geliştirme için gerçek zamanlı veriler tüm SC üyeleri arasında görünür hale getirilebilir.

Lojistik sevkiyatındaki değişkenlik ve sipariş birikimiyle talep dalgalanması gerçek zamanlı olarak bulut sistemine beslenir, böylece boğa güreşi etkisi ortadan kaldırılır ve tüm paydaşlarla şeffaf bir sistem oluşturulur. Ayrıca, **Şekil 6**'da sipariş karşılama oranındaki değişimi gözlemleyebiliriz; bu da talep birikimine ilişkin iletişim ve geri bildirim eksikliğinden kaynaklanan rastgeleliği ve düşük müşteri hizmetlerini açıkça göstermektedir. Sistemin devreye girmesiyle



Şekil 5.
Geleneksel ve
Endüstri'de üreticinin
envanter seviyesi

4.0'a uyarlanmış



Şekil 6.
Geleneksel ve
Endüstri'de sipariş
karşılama oranı
4.0 kabul edilmiş
SC

Bulut sistemi aracılığıyla bilgi paylaşımı ve RFID aracılığıyla izleme, sipariş akışında net bir iletişim ve görünürlük sağlar. Kullanılan Endüstri 4.0 teknolojilerinin sağladığı veriye dayalı karar verme ve aksaklıklara yanıt verebilme, SC verimliliğini artırır ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin artmasına yol açar.

Endüstri 4.0 platformlarının geliştirilmesi, uygulanması ve bakımı, kazanımların ve maliyetlerin değerlendirilmesi ve dengelenmesi gereken bir döngü olarak görülebilir. Simülasyon sonuçlarının da doğruladığı gibi, Endüstri 4.0 teknolojilerinin SC parametreleri üzerinde büyük bir etkisi olabilir. Bu

Endüstri 4.0 paradigmasının itici güçlerini ve faydalarını henüz olgunlaşmamış bir dönem olan SC perspektifinden tartışmak önemlidir. Bu nedenle, simülasyon sonuçları ve ilgili literatürden elde edilen içgörüler, Endüstri 4.0'ın bir AVM ağında uygulanmasına yönelik kavramsal bir çerçeve geliştirmek için kullanılmıştır. Önerilen bütünsel çerçeve iki ana aşamada yapılandırılmıştır: işin dijitalleşmesi ve iş ağlarının dönüşümü. Bu iki aşamanın ana bileşenleri Şekil 7'de verilmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin giderek daha fazla uygulanması ve iş dünyasının dijitalleşmesi, iş ağı düzeyinde bir dönüşümü gerekli kılmıştır. Bu gelişmeler kurum kültürü, yönetim stratejileri ve iş modellerinin yanı sıra operasyonlar ile kurum içi ve kurumlar arası ilişkilerde de değişikliklere yol açmaktadır.

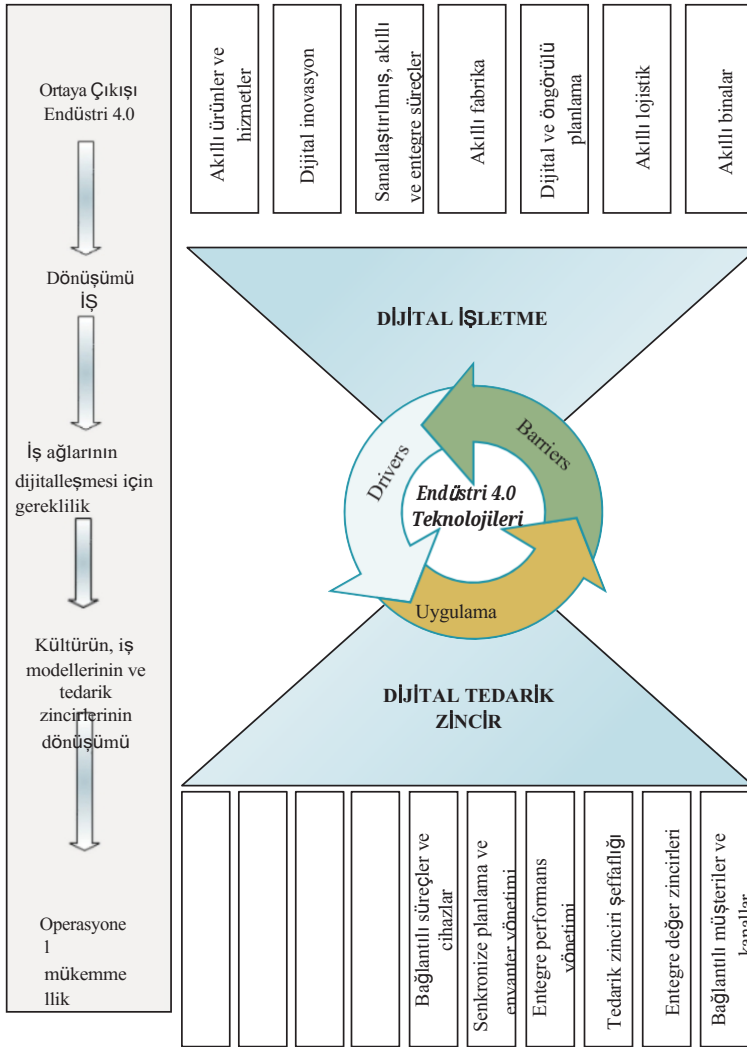
Tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0 uygulamasının on kritik bileşeni Şekil 7'deki dijital AVM üçgeni altında verilmiştir. Bunlar; dijital kültür, yeni dijital iş modelleri, işbirliği ve veri paylaşımı, optimize edilmiş veri yönetimi, bağlantılı süreçler ve cihazlar, senkronize planlama ve envanter yönetimi, entegre performans yönetimi, SC şeffaflığı, entegre değer zincirleri ve bağlantılı müşteriler ve kanallardır. Bu bileşenler operasyonel mükemmellik platformlarının geliştirilmesi için kaçınılmazdır. Yukarıdan aşağıya tüm değer zinciri ağının entegre teknoloji ile yeniden yapılandırılması akıllı, bağlantılı, otonom, esnek ve özelleştirilmiş ağlar yaratır. SD modelinin sonuçları, Endüstri 4.0 teknolojilerinin AVM ağına dahil edilmesinin, envanter, maliyet ve müşteri hizmetleri açısından AVM'nin performansında önemli bir iyileşmeye yol açtığını göstermektedir. Endüstri 4.0'ın AVM'lerde kullanılmasının şeffaflık, işbirliği ve bilgi paylaşımında iyileşmeyi desteklediği açıktır. Değer zincirindeki paydaşların süreçlerinin, verilerinin ve cihazlarının entegrasyonu, gerçek zamanlı öngörü, senkronize ve işbirliğine dayalı uçtan uca planlama için önemli bir etkiye sahiptir. İşletmeler ve AVM'ler dönüştükçe yeni itici güçler ve engeller ortaya çıkmaktadır; bu nedenle bu aşama Şekil 7'de dairesel bir döngü ile temsil edilmektedir.

6. Tartışma

Bu alanda gelişen literatüre rağmen, AVM'lerde Endüstri 4.0'ın uygulanmasına yönelik bütüncül yaklaşımların, stratejilerin ve çerçevelerin eksik olduğu tespit edilmiştir. Soruna sistematik bir yaklaşımın ardından, ilk olarak, Endüstri 4.0'ın temel itici güçleri ve engelleri

4.0'ın AVM'lerdeki etkileri ilgili literatüre dayanarak belirlenmiştir. Luthra ve Mangla (2018) zorlukların dört boyutunu tanımlamıştır: örgütsel, yasal ve etik, stratejik ve teknolojik boyutlar. Bu kategorizasyon, bu çalışmada Endüstri 4.0 uygulaması için belirlenen itici güçlerin ve engellerin etkilerini analiz etmek üzere uyarlanmıştır. Daha sonra, Endüstri 4.0'ın engellerinin ve itici güçlerinin AVM'lerde uygulanması üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir SD modeli geliştirilmiştir. Etkinin ve ilgili öğrenmelerin genel olarak anlaşılması, dijital AVM'lerde başarılı bir şekilde benimsenmesi için kavramsal çerçevenin geliştirilmesine yol açmaktadır.

SD modelinin sonuçları, geleneksel ve Endüstri 4.0 destekli bir AVM'nin karşılaştırılması için birkaç önemli içgörü sağlamaktadır. İki teknolojinin - bulut teknolojisi ve RFID - uygulanması, envanter seviyelerini ve envanter maliyetlerini azaltarak ve stabilize ederek operasyonel performansı önemli ölçüde artırmaktadır. Bu gelişmiş envanter yönetimi seviyesinin ana nedeni, gerçek zamanlı envanter izleme ve envanter yönetimi sayesinde daha yüksek görünürlüktür.



Şekil 7.
AVM'lerde
Endüstri 4.0'ın
uygulanması için
çerçeve

SC üyeleri arasında bilgi paylaşımı. Bu gelişme aynı zamanda bir kuruluşun uyarlanabilirliğini, çevikliğini ve esnekliğini de artıracaktır. Kullanılan teknolojiler tarafından sağlanan gerçek zamanlı bilgi görünürlüğü ve şeffaflık, tahmin, üretim planlama, sipariş karşılama ve aksaklıklara yanıt verme becerilerini de geliştirmektedir. Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin AVM düzeyinde incelenmesi, bu teknolojik dönüşümün iş operasyonları üzerindeki gerçek kümülatif etkisini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Endüstri 4.0 paradigmasının avantajlarını ele alan önceki çalışmalarla uyumludur (Strange ve Zucchella, 2017; Zhong vd., 2017; Oztemel ve Gursev, 2018; Ghobakhloo ve Fathi, 2019). Bununla birlikte, SD modellemesi yoluyla elde edilen sonuçlar, AVM'lerde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin genel kümülatif etkisini ölçmek için önemlidir.

Birçok büyük işletme ve KOBİ, otomotiv, savunma, elektrik ve ilaç endüstrileri gibi farklı sektörlerde Dördüncü Sanayi Devrimi'ne doğru ilerlemektedir (Arnold vd., 2016; Müller, 2019). Son zamanlarda yapılan çalışmalar farklı sektörleri haritalandırmaya çalışmaktadır.

Endüstri 4.0 teknolojileri çeşitli SC süreçlerine uygulanmaktadır; örneğin çoklu aracı teknolojisi kullanılarak tedarikçi seçimi (Ghadimi vd., 2019), SC ortakları arasında gerçek zamanlı bilgi paylaşımı için makine destekli karar verme için IoT cihazları (Haddud vd., 2017), merkezi üretim yürütme sistemleri için bulut bilişim (Almada-Lobo, 2015), gerçek zamanlı araç takibi için RFID etiketleri ve sensörler (Barreto vd., 2017). Süreçlerin dijitalleştirilmesi ve otomasyonu, tüm AVM'nin birbiriyle etkileşim ve iletişim halinde olan fiziksel varlıklardan oluşan bir ağa dönüşmesine yol açmaktadır (Ghadimi vd., 2019). Bu nedenle, kapsamlı stratejiler ve

Bu dijital dönüşümün tam potansiyelini AVM düzeyinde gerçekleştirmek için çerçevelerin uygulanması gerekmektedir. Bu aynı zamanda AVM'lerin kurumsal kültürlerinin, ağ yapısının ve yönetim uygulamalarının Endüstri 4.0 vizyonu doğrultusunda dönüştürülmesini de gerektirmektedir.

7. Sonuç Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemler, RFID teknolojileri, IoT, bulut bilişim, büyük veri analitiği, gelişmiş robotik vb. gibi çok çeşitli yenilikçi teknolojileri kapsayan kaçınılmaz bir devrimdir. Endüstri 4.0 paradigması, otomotiv, lojistik, havacılık, savunma ve enerji sektörleri gibi birçok sektörde iş dünyasını dönüştürmektedir. Giderek artan sayıda akademik araştırma, Endüstri 4.0 teknolojilerine ve uygulama sorunlarına odaklanmaktadır (Ghobakhloo, 2018; Sarvari vd., 2018; Frank vd., 2019). Böylesi bir dijital değişimle birlikte, SC büyük bir metamorfizma geçiren bir alandır. Çalışmadan, geleneksel AVM'lerin hızla değişen pazarlarda ayakta kalabilmek için Endüstri 4.0 ilkelerini uygulayarak hızla dönüşmeleri gerektiği anlaşılmaktadır. Şirketler yeni devrimi benimsemek ve kucaklamak için AVM'nin sınırlarının ötesine bakmaktadır. Bununla birlikte, sınırlı sayıda araştırmacı Endüstri 4.0 geçişini bir AVM ağı perspektifinden incelemenin önemini ele almıştır. Bu çalışma, SC ağlarında Endüstri 4.0'ın temel itici güçlerini, engellerini ve diğer uygulama zorluklarını tartışarak bu çok kritik boşluğa katkıda bulunmaktadır.

Simülasyon modelinin sonuçları, Endüstri 4.0'ın AVM'lerde uygulanmasına yönelik genel, dört aşamalı bir çerçeve oluşturmak için kullanılmıştır. Çerçeve, başarılı bir uygulamayı koordine etmek için dört adımdan oluşmaktadır. Bu çalışma, SK sistemlerinde Endüstri 4.0'ın dinamiklerini SK yaklaşımıyla inceleyen özgün bir çalışmadır. Önceki çalışmalar genellikle Endüstri 4.0 teknolojileri üzerine tartışmalara ve bu teknolojiler için tasarım ilkelerinin geliştirilmesine dayanmaktadır. Önerilen SK tabanlı metodoloji, farklı engeller ve itici güçlerin etkisi altında Endüstri 4.0 teknolojileri ile AVM dinamikleri arasındaki ilişkiyi ölçme fırsatı sunmaktadır. Endüstri 4.0'ın AVM'lerde uygulanmasına yönelik çerçeve, mevcut dijital dünyada yeni bir paradigmanın başarılı bir şekilde uyarlanmasını hızlandırmak için geliştirilmiştir.

Önerilen çerçeve, lojistik ve AVM yönetiminde Endüstri 4.0'ın benimsenmesi ve hızlandırılması için değerli bir katkıdır. SD modelinin bulguları ve önerilen Endüstri 4.0 uygulama çerçevesi, şirketlere Endüstri 4.0 uyarlamalarının faydaları ve bunları AVM'lerde başarılı bir şekilde uygulama yolları hakkında içgörü sağlayacaktır. Bu makale, gelecekte araştırmacılar tarafından test edilip doğrulanabilecek bir uygulama çerçevesi sunmaktadır. Geliştirilen SD modeli, AVM'lerin gelecekteki gelişimi ve analizi ile Endüstri 4.0 araç ve teknikleriyle etkileşimi için temel olarak kullanılabilir. Araştırma, Endüstri 4.0'ın uygulanmasına yönelik zorlukları belirleyerek uygulayıcılar için içgörü sağlamaktadır. Geliştirilen SD modelleri, şirketlerin Endüstri 4.0'ın bireysel uygulamalarının etkisini anlamaları için temel bir model olarak kullanılabilir.

Diğer araştırmalarda olduğu gibi, bu çalışmanın da çeşitli sınırlamaları bulunmaktadır. İlk olarak, çalışmada SD modellerini test etmek için ampirik veriler kullanılmamıştır. Sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmak için simülasyon sırasında çeşitli varsayımlar yapılmıştır. Ayrıca, SK'nin karmaşıklığı nedeniyle, model geliştirme ve değerlendirmede Endüstri 4.0'ın sadece birkaç parametresi (RFID ve bulut) dikkate alınmıştır. Gelecekte, modelin sonuçları ve temel bulguları aşağıdakiler kullanılarak doğrulanabilir

birincil veriler. Diğer performans göstergelerinin, modelin değer zinciri boyunca genişletilmesi suretiyle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tedarik zincirleri
için Endüstri
4.0

Referanslar

- Akkermans, H. ve Dellaert, A. (2005), "Endüstriyel dinamiklerin yeniden keşfi: dinamik ve parçalanmış bir dünyada sistem dinamiklerinin tedarik zinciri yönetimine katkısı", *System Dynamics Review*, Vol. 21 No. 3, pp. 173-186.
- Almada-Lobo, F. (2015), "Endüstri 4.0 devrimi ve üretim yürütme sistemlerinin (MES) geleceği", *Journal of Innovation Management*, Vol. 3 No. 4, pp. 16-21.
- Arnold, C., Kiel, D. ve Voigt, K. (2016), "How the industrial internet of things changes business models in different manufacturing industries", *International Journal of Innovation Management*, Vol. 20 No. 8, p. 1640015.
- Bala, B.K., Arshad, F.M. ve Noh, K.M. (2017), *System Dynamics: Modelleme ve Simülasyon*, Springer, Singapur.
- Bandyopadhyay, D. ve Sen, J. (2011), "Internet of things: applications and challenges in technology and standardization", *Wireless Personal Communications*, Vol. 58 No. 1, pp. 49-69.
- Barreto, L., Amaral, A. ve Pereira, T. (2017), "Industry 4.0 implications in logistics: an overview", *Procedia Manufacturing*, Cilt 13, s. 1245-1252.
- Bedekar, A. (2018), "Hindistan'da IoT için fırsatlar ve zorluklar", şu adresten erişilebilir: <https://technology.siliconindiamagazine.com/viewpoint/cxinsights/opportunitieschallenges-for-iot-in-india-nwid-1060.html> (erişim tarihi 5 Ocak 2020).
- BCG perspektifleri (2016), şu adresten erişilebilir: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx (erişim tarihi 28 Eylül 2019).
- BRICS İş Konseyi (2017), *Sanayi 4.0 için Beceri Geliştirme*, BRICS Beceri Geliştirme Çalışma Grubu, şu adresten erişilebilir: <http://www.globalskillsummit.com/Whitepaper-Summary.pdf> (erişim tarihi 6 Ekim 2019).
- Campuzano, F. ve Mula, J. (2011), *Tedarik Zinciri Simülasyonu: A System Dynamics Approach for Improving Performance*, Springer-Verlag, Londra.
- 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*, Vol. 204, pp. 383-394.
- Deloitte (2014), "Industry 4.0: challenges and solutions for digital transformation and use of exponential technologies", <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/chen-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf> (erişim tarihi: 5 Ocak 2020).
- Deloitte (2017), *Endüstri 4.0 ve Siber Güvenlik: Managing Risk in an Age of Connected Production*, Deloitte University Press, şu adresten erişilebilir: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3749_Industry40_cybersecurity/DUP_Industry4-0_cybersecurity.pdf (erişim tarihi 5 Ocak 2020).
- Demetriou, G.A. (2011), "Mobile robotics in education and research", Gacovski, Z. (Ed.), *Mobile Robots - Current Trends*, InTech, şu adresten erişilebilir: <https://www.intechopen.com/books/mobile-robots-current-trends/mobile-robotics-in-education-and-research> (erişim tarihi 6 Ekim 2019).
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S. ve Ayala, N.F. (2019), "Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies", *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, pp. 15-26.
- Georgiadis, P., Vlachos, D. ve Iakovou, E. (2005), "A system dynamics modelling framework for the strategic supply chain management of food chains", *Journal of Food Engineering*, Vol. 70 No. 3, pp. 351-364.

- Ghadge, A., Karantoni, G., Chaudhuri, A. ve Srinivasan, A. (2018), "Katmanlı imalatın uçak tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi: bir sistem dinamiği yaklaşımı", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29 No. 5, pp. 846-865.
- Ghadge, A., Dani, S., Chester, M. ve Kalawsky, R. (2013), "A systems approach for modelling supply chain risks", *Supply Chain Management: Uluslararası Dergi*, Cilt 18 No. 5, s. 523-538.
- Ghadge, A., Caldwell, N. ve Wilding, R. (2019), "Managing cyber risk in supply chains: a review and research agenda: a review and research agenda", *Supply Chain Management*, Vol. 25 No. 2, s. 223-240.
- Ghadimi, P., Wang, C., Lim, M.K. ve Heavy, C. (2019), "Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: theory and application for Industry 4.0 supply chains", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 127, pp. 588-600.
- Ghobakhloo, M. (2018), "İmalat sanayinin geleceği: Endüstri 4.0'a doğru stratejik bir yol haritası", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29 No. 6, pp. 910-936.
- Ghobakhloo, M. ve Fathi, M. (2019), "Endüstri 4.0 çağında kurumsal hayatta kalma: yalın-basamaklı üretimin etkinleştirici rolü", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Cilt 31 No. 1, s. 1-30.
- Gökalp, E., Şener, U. ve Eren, P.E. (2017), "Endüstri 4.0 için bir değerlendirme modelinin geliştirilmesi: Endüstri 4.0-MM", *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination*, Springer, Cham, pp. 128-142.
- Golroudbary, S. ve Zahraee, S. (2015), "System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain", *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 53, pp. 88-102.
- Gunasekaran, A., Subramanian, N. ve Tiwari, M.K. (2016), "Information technology governance in internet of things supply chain networks", *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 116 No. 7.
- Haddud, A., DeSouza, A., Khare, A. ve Lee, H. (2017), "Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 28 No. 8, pp. 1055-1085.
- Hahn, T. (2014), *Üretimin Geleceği: View on Enabling Technologies*, Siemens Corporate Technology, şu adresten erişilebilir: https://opcfoundation.org/wpcontent/uploads/2014/09/3_140805_OPC_Foundation_Redmond_v7a_incl_Siemens_Slides_20140731.pdf (erişim tarihi 5 Ocak 2020).
- Hermann, M., Pentek, T. ve Otto, B. (2016). "Design principles for industrie 4.0 scenarios", *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, IEEE, pp. 3928-3937.
- Hofmann, E. ve Rüesch, M. (2017), "Endüstri 4.0 ve lojistikte mevcut durum ve gelecek beklentileri", *Computers in Industry*, Vol. 89, pp. 23-34.
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. ve Sharmac, R. (2018), "Hindistan imalat sanayinde endüstri 4.0'ı benimsemenin önündeki engellerin itici ve bağımlı gücünün analizi", *Computers in Industry*, Vol. 101, pp. 107-119.
- Lu, Y. (2017), "Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues", *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 6, pp. 1-10.
- Luthra, S. ve Mangla, S.K. (2018), "Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 117, s. 168-179.
- Manavalan, E. ve Jayakrishna, K. (2019), "Endüstri 4.0 gereksinimleri için Nesnelerin İnterneti (IoT) gömülü sürdürülebilir tedarik zinciri üzerine bir inceleme", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 127, s. 925-953.
- McKendrick, J. (2015), "Industry 4.0: it is all about information technology this time", <https://www.zdnet.com/article/industry-4-0-its-all-about-informationtechnology/> adresinden erişilebilir (erişim tarihi: 5 Ocak 2020).

- Miragliotta, G., Sianesi, A., Convertini, E. ve Distante, R. (2018), "Endüstri 4.0'da veri odaklı yönetim: veri verimliliğini ölçmek için bir yöntem", *IFAC PapersOnLine*, Cilt 51 No. 11, s. 19-24.
- Mueller, J.M. (2019), "Küçük ve orta ölçekli işletmelerde iş modeli yeniliği: endüstri 4.0 sağlayıcıları ve kullanıcıları için stratejiler", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 30 No. 8, pp. 1127-1142.
- Mueller, J., Dotzauer, V. ve Voigt, K.I. (2017a), "Industry 4.0 and its impact on reshoring decisions of Alman imalat işletmeleri", Bode, C., Bogaschewsky, R., Eßig, M., Lasch, R. v e Stölzle, W. (Eds), *Supply Management Research*, Springer Gabler, Wiesbaden, pp. 165-179.
- Mueller, J.M., Maier, L., Veile, J. ve Voigt, K.I. (2017b), "Endüstri 4.0'ın uygulanması için KOBİ'ler arasında işbirliği stratejileri", Kersten, W., Blecker, T. ve Ringle, C.M. (Eds), *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics*, Vol. 23, pp. 301-318.
- Nicoletti, B. (2018), "The future: procurement 4.0", *Agile Procurement*, Palgrave Macmillan, Cham, s. 189-230.
- Öztemel, E. ve Gürsev, S. (2018), "Endüstri 4.0 ve ilgili teknolojilere ilişkin literatür taraması", *Akıllı Üretim Dergisi*, Cilt 31 No. 1, s. 127-182.
- Pereira, A. ve Romero, F. (2017). "A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept", *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1206-1214.
- PwC (2016), "Industry 4.0: global digital operations study 2018", <https://www.pwc.com/gx/tr/industries/industry-4.0.html> adresinden erişilebilir (erişim tarihi 5 Ocak 2020).
- Qiu, Y., Shi, X. ve Shi, C. (2015), "A system dynamics model for simulating the logistics demand dynamics of metropolitanans: a case study of Beijing, China", *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 8 No. 3, pp. 783-803.
- Rachinger, M., Rauter, R., Mueller, C., Vorraber, W. ve Schirgi, E. (2018), "Digitalization and its influence on business model innovation", *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ras, E., Wild, F., Stahl, C. ve Baudet, A. (2017), "Bridging the skills gap of workers in industry 4.0 by human performance augmentation tools: challenges and roadmap", *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, ACM, New York, pp. 428-432.
- Sarvari, P.A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I. ve Cebi, S. (2018), "Technology roadmap for industry 4.0", in Ustundag, A. and Cevikcan, E. (Eds), *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, Springer, Cham, s. 95-103.
- Strange, R. ve Zucchella, A. (2017), "Endüstri 4.0, küresel değer zincirleri ve uluslararası ticaret", *Multinational Business Review*, Cilt 25 No. 3, s. 174-184.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E. ve Pelaez, G. (2017), "Endüstri 4.0 tedarik zinciri için ne anlama geliyor?", *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 1175-1182.
- Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T. ve Lennartson, B. (2017), "An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0", *International Journal of Production Research*, Vol. 55 No. 5, pp. 1297-1311.
- Vaidya, S., Ambad, P. ve Bhosle, S. (2018), "Industry 4.0 - a glimpse", *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, pp. 233-238.
- Wagire, A.A., Rathore, A.P.S. ve Jain, R. (2019), "Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: using latent semantic analysis approach", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 31 No. 1, pp. 31-51.
- Wamba, S.F., Gunasekaran, A., Akter, S., Ren, S.J., Dubey, R. ve Childe, S.J. (2017), "Big data analytics and firm performance: effects of dynamic capabilities", *Journal of Business Research*, Vol. 70, pp. 356-365.
- Wang, S., Wan, J., Li, D. ve Zhang, C. (2016), "Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 12 No. 1, 3159805.

- Wu, L., Yue, X., Jin, A. ve Yen, D.C. (2016), "Smart supply chain management: a review and implications for future research", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 27 No. 2, s. 395-417.
- 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*, Vol. 56 No. 8, pp. 2941-2962.
- Zawadzki, P. ve Zywicki, K. (2016), "Endüstri 4.0 konseptinde etkili kitlesel özelleştirme için akıllı ürün tasarımı ve üretim kontrolü", *Management and Production Engineering Review*, Cilt 7 No. 3, s. 105-112.
- Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E. ve Newman, S.T. (2017), "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review", *Engineering*, Vol. 3 No. 5, pp. 616-630.

Sorumlu yazar

Abhijeet Ghadge ile şu adresten iletişime geçilebilir: Abhijeet.Ghadge@Cranfield.ac.uk