



Review Article

INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE LOGISTICS SECTOR WITH THE NEW DIGITAL AGE APPROACH

YENİ DİJİTAL ÇAĞ YAKLAŞIMI İLE LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE YENİLİKÇİ ÇÖZÜMLER

Cansu ÇAKILCI¹ | Yücel ÖZTÜRKOĞLU^{2,*}

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi; Yaşar Üniversitesi, cakilcicansu@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5271-0579

² Prof. Dr. Yaşar Üniversitesi, yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr; ORCID: 0000-0002-9569-8178

Article Info:

Received : December, 7, 2020

Revised : March 21, 2021

June 27, 2021

July 12, 2021

Accepted : August, 27, 2021

Keywords:

Industry 4.0,

Logistics,

Logistics Innovations

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0,

Lojistik

Lojistik İnovasyonları

DOI: 10.46238/jobda.836758

ABSTRACT

Many different technological innovations have begun to emerge with the Industry 4.0, also called the new industrial revolution. When we look at the Industry 4.0 literature, the innovations and effects in the production sector in general are examined in detail. However, Industry 4.0 affects the logistics processes as well as the least production processes. When evaluated in terms of logistic processes in terms of seven basic directions of logistics, Industry 4.0 reflections are gaining importance. In this study, innovations brought by Industry 4.0 were examined within the framework of logistics sector. The present logistic processes, how this new industrial revolution has changed and the possible problems and solutions are presented with this change. In addition, the changing processes were re-evaluated by placing them on the basis of seven lines of logistics from the basic building blocks of logistics.

ÖZET

Yeni sanayi devrimi olarak da adlandırılan Endüstri 4.0 ile birçok farklı teknolojik inovasyonlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 literatürüne bakıldığında, genel olarak üretim sektöründe yapılan yenilikler ve etkileri detaylıca incelenmektedir. Ancak Endüstri 4.0 en az üretim süreçleri kadar lojistik süreçleri de etkilemektedir. Lojistik süreçler için özellikle lojistiğin yedi temel doğrultusu açısından değerlendirildiğinde, Endüstri 4.0 yansımaları oldukça önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği inovasyonlar lojistik sektörü çerçevesinde incelenmiştir. Mevcut lojistik süreçlerin, bu yeni sanayi devrimi ile nasıl değişime uğradığı, bu değişim ile olası problemler ve çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca değişen süreçler, lojistiğin temel yapı taşlarından lojistiğin yedi doğrusu temeline oturtularak yeniden değerlendirilmiştir.

© 2021 JOBDA All rights reserved

*Corresponding author.

E-Posta: yucel.ozturkoglu@yasar.edu.tr (Y. Öztürkoğlu)

1 | GİRİŞ

Küreselleşme ile birlikte artan rekabet ortamında, işletmeler varlıklarını sürdürebilmesi için israfı azaltacak aynı zamanda daha az kaynak tüketerek daha çok verim sağlayacak stratejiler geliştirmek zorundadırlar. Son dönemlerde adını da sıkça duymaya başladığımız Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan 4. Sanayi Devrimi ile ihtiyaç duyulan stratejiler farklı yönlerde şekillenmeye başlamıştır. Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Almanya'nın Hannover şehrinde gerçekleşen Hannover Teknoloji fuarında adını duyurmuş, kısa süre sonra da Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Batı Avrupa ülkelerinde farklı isimlerle anılarak üretim sürecine dâhil edilmiştir (Banger, 2016, s.48). ABD'de 'Geleceğin Fabrikaları', Japonya'da 'Toplum 5.0' İngiltere'de 'Akıllı İmalat Koalisyonu', Fransa'da ise 'Geleceğin Endüstri Girişimi' isimleri ile de anılmaktadır (Öztemel ve Gürsev, 2018, s.158).

Endüstri 4.0, geleneksel endüstrinin güçlü yönleri ile ileri düzey internet, bilgi ve iletişim teknolojilerinin bütünleştirildiği bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, iç içe dijital ve fiziksel işlemlerin entegre edildiği, akıllı ürünler elde etmeye yarayan bir dizi teknolojiyi içermektedir (Schmidt vd., 2015, s.16; Hermann vd., 2016). Endüstri 4.0 ile insan emek gücüne ihtiyacın en aza indirildiği, robotların ve farklı teknolojilerin ise üretim sürecinde daha fazla yer aldığı bir sistem tasarlanmaktadır. Ürünler; internet, çip, sensor ve bunlar gibi ileri teknolojiler sayesinde insan ve makinaların birbirleriyle etkileşime ve iletişime geçebildiği akıllı fabrikalarda üretilebilecektir.

Bundan önceki diğer üç sanayi devrimin doğmasında; buhar makinası, mekanikleşme, elektrik ve bilişim teknolojilerinin gelişimi gibi çeşitli inovasyonlar önemli ve belirleyici rol almıştır. Endüstri 4.0 da ise nesnelerin interneti (IoT) ve siber fiziksel sistemlerin (SFS) gelişmesi bu dönemin en belirleyici inovasyonları arasında yer almaktadır (Weyer vd, 2015). Bu iki önemli kavram ile birlikte Endüstri 4.0'ın yansımalarından olan büyük veri (Witkowski, 2017) , artırılmış gerçeklik, bulut bilişim sistemi (Hofmann ve Rüsç, 2017) ve otonom araçlar geleneksel lojistik süreçlerini de değiştirmektedir. Üretim süreçlerinde olduğu gibi lojistik süreçlerinin de değişen teknolojilere hızlıca adapte olması firmalar için hem maliyet hem de rekabet açısından önem teşkil etmektedir (Barreto vd 2017).

Endüstri 4.0 kavramı üretim ve lojistik süreçlerde ki etkisinin yanı sıra, döngüsel ekonomi açısından da oldukça önemlidir (Dev vd. 2020). Özellikle sürdürülebilir üretim bağlamında döngüsel ekonomi uygulamalarını mümkün kılmak için Endüstri 4.0 teknolojilerini uygulamak gerektiği birçok çalışmada gösterilmiştir (Strandhagen vd. 2017; Nagy vd. 2018; Nascimento vd. 2019; Abdırad ve Krishnan, 2020).

Bugüne kadar yapılan Endüstri 4.0 ile ilgili akademik çalışmalara bakıldığında, değişen ve gelişen teknolojiler sadece üretim süreçleri etrafında detaylıca incelenmektedir. Bu çalışmada ise Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği inovasyonlar lojistik sektörü çerçevesinde incelenecektir. Mevcut lojistik süreçlerin, bu yeni sanayi devrimi ile nasıl değişime uğradığı, bu değişimden kaynaklı olası problemleri ve çözüm önerileri detaylıca irdelenecektir. Ayrıca değişen süreçler, lojistiğin temel yapı taşlarından lojistiğin yedi doğrusu temeline oturtularak yeniden değerlendirilecektir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde sanayi devriminin tarihsel gelişimi ve Endüstri 4.0 inovasyonları ile literatürde yapılmış çalışmalar detaylıca anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde ise yeni dijital çağ ile değişen lojistik süreçlerinin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sonuç bölümünde ise çalışmanın kısa bir özeti ile gelecekte yapılması gereken çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

2 | SANAYİ DEVRİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Tarihte, toplumsal gelişime yön veren ve insanlık tarihini temelden değiştiren iki önemli olay vardır. İlki M.Ö.3000'de gerçekleşen Tarım Devrimi veya Neolitik Devrim, ikincisi ise 18. yüzyılda gerçekleşen 1. Sanayi Devrimidir (Güran, 1997, s. 177).

1.Sanayi Devrimi öncesinde insan kas gücüne ve hayvan enerjisine dayanan bir üretim mevcuttu. El zanaatlarının da yaygın olduğu bu dönemde, aynı zamanda parça başı üretim yapan küçük atölyeler de vardı.

İlk olarak İngiltere'de ortaya çıkan ve dünyayı etkisi altına alan 1. Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0), kısa bir süre içinde Batı Avrupa ülkeleri ve Amerika'da yayılmaya başlamıştır. 1760'lı yıllarda başlayıp, 1830'lara kadar devam eden 1. Sanayi Devrimi'ni başlatan en önemli gelişme ise buhar enerjisiyle çalışan makinelerin icadıdır. Bu makinelerin icadıyla birlikte mekanik üretim tesisleri devreye girmiştir. Teknolojinin gelişmeye başlaması üretim sisteminin de yönünü değiştirmiş, atölyeden fabrikaya, parça başı üretimden yığın üretimine geçilmesi sonucunu doğurmuştur. Böylece üretilen ürün sayısında büyük bir artış gözlenirken, üretim süresi ise kısalmıştır. Üretim sayısının artışı, ilk kez lojistik süreçlerin fabrika içinde değerlendirilmesine yol açmıştır. Ayrıca, fabrika içi dışında herhangi bir ek yere ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır (Çakılcı&Öztürkoğlu, 2020).

Fordizm olarak da anılan, 2. Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0) Henry Ford'un öncülüğünde başlamıştır. Henry Ford, 1870'de Ohio Cincinnati'de bir mezbahada kullanılan ilk hareketli üretim bandı teknolojisinden esinlenmiş ve ilk kez otomotiv sektörü için kullanılan kitleli üretim çağını başlatmıştır. Bu dönemde gerçekleşen bir diğer önemli gelişme ise elektrik

teknolojisinin gelişmesi ve üretim hatlarında kullanılmaya başlanmasıdır. Elektriğin de ilk defa fabrikalarda seri üretim hatlarında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte yeni ve sürdürülebilir bir üretim modeli hayata geçirilmiştir. Elektrik enerjili kitlesel üretim sistemin devreye girişiyle birlikte, düşük maliyetli ve çok daha hızlı bir üretim süreci hakimdi. 2. Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkmasında lojistik süreçleri bir önceki sanayi devrimine göre çok daha farklı bir boyuta geçmiştir. Özellikle, demiryolları başta olmak üzere ulaşım ağının gelişmesinin büyük rolü olmuştur. Ulaşımın kolaylaşması, hammadde teminini de büyük ölçüde kolaylaştırmış, üretim sürecinden çıkan ürünlerin yeni ve uzak pazarlara ulaşmasını sağlamıştır (Kolat vd. 2019, s.721). Rekabetteki yoğunlaşma ve tüketici tercihlerindeki çeşitlenme Fordizmin sunduğu tek kalıp üretimi zorlamaya başlamış ve nihayetinde 1973 petrol krizi sonrasında bu sistem çökmüştür (Alçın, 2016, s.22).

1970'li yılların başında ilk kez geliştirilen programlanabilir makineler sanayileşmede yeni bir dönemin habercisi oldular (Soylu, 2018, s. 46). Bilgisayar çağı olarak adlandırılan 3. Sanayi Devrimi'nde (Endüstri 3.0) ilk mikro bilgisayar geliştirilmiş ve dijital ve bilgi teknolojileri üretim sürecine eklenerek imalatta otomasyon süreci öne çıkmıştır. Teknolojik gelişmeler ışığında, lojistik sektöründe de birçok yenilik yapılmaya başlanmıştır. Ürün takip sistemleri, barkodlar, elleçleme araçlarının otomasyona dönüşmesi, depo yönetim sistemleri ile izlenebilirliğin artması lojistikte yer alan önemli gelişmeler olmuştur.

Çağımızın teknolojisi olan 4. Sanayi Devrimi'ni (Endüstri 4.0) genel kabul görmüş bir tanım ile açıklamak mümkün değildir. 21. yy başlarına geldiğinde ortaya çıkan bu kavram literatürde farklı yazarlar tarafından farklı perspektifler ile anlatılmaktadır. Brettel vd. (2014) Endüstri 4.0 kavramının temelini endüstriyel üretim sürecinde yer alan tüm birimlerin birbiriyle iletişimine, bütün ilgili verilere gerçek zamanlı olarak ulaşılabilmesine ve bu veriler sayesinde mümkün olan en fazla katma değer sağlanmasına dayandığını söylerken, Gilchrist (2016) veri odaklı modelleri ve kararları entegre ederek, üretim sürecinin tüm döngüsünün esnek hale getirilmesi olarak tanımlamaktadır. Götz ve Jankowska (2017) ise sanal ve gerçek dünyalarının kaynaşmasını sağlayan, üretim sanayisinin dijitalleşmesi, otomasyon ve robotik teknolojilerinin de birleşmesiyle iş modellerinde radikal bir dönüşüme sebep olan bir sistem olarak açıklarken, Luthra ve Mangla (2018) Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması, üretim durumu, enerji tüketimi, malzeme akışı, müşteri siparişleri ve tedarikçilerin verileri gibi önemli üretim parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrol edilmesini sağladığını ifade etmiştir.

İnternet ve bilgi teknolojilerinin hızla geliştiği bir dünyada, müşteri talep ve ihtiyaçlarında yaşanan değişim kaçınılmazdır. Müşteriler, üretilen ürün sayısı ve ürün çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı, yeni bir ürüne hızlı bir şekilde ulaşma ihtiyacı duymaya başlamışlardır. Bir takım müşteri ise ürünü satın alırken, çevreye verdiği zararı göz önünde bulundurmıştır. Artan rekabet koşulları ile işletmelerin kalite ve fiyat dengesini koruyarak, mümkün olan en kısa sürede ve çevreye verilen zarar azaltarak üretimi gerçekleştirmesi hayati bir önem taşımaktadır (Çalışkan vd. 2016). Üretim ve tüketim hızının paralelliği, gelişen tüketici ihtiyaç ve gereksinimleri, firmalar arası rekabet 4. Sanayi Devrimi'nin oluşumun sinyallerini vermiştir. 4. Sanayi Devrimi dönemi içinde yer alan teknoloji temelli uygulamalar aracılığıyla, düşük enerji tüketimi ile birlikte hızlı ve güvenilir bir üretim süreci gözlemlenmektedir (Sanal&Öztürkoğlu, 2017, s. 172). Gelişen teknolojik gelişmeler ile mevcut iş modellerinin geliştirilmesi veya yeni yapış şekillerinin oluşturulması ayakta kalmak isteyen işletmeler için zorunlu hale gelmiştir. 4.Sanayi Devrimi, üretim ve tüketim maliyetlerini azaltırken, toplanılan ve analiz edilen veri süreci ile de işletme içi yönetim, organizasyon kabiliyetinin güçlendiği bir sistem de sağlamaktadır. Bu dönemde, 3. Sanayi Devrimi'nde yer alan inovatif gelişmelerin yanı sıra lojistik süreçlerinde köklü değişiklikler yaşanmaktadır. Özellikle de operasyonel ve sevkiyat süreçlerindeki değişim Lojistik 4.0'ın en önemli unsurlarındandır.

3 | ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMA ALANLARI

Son yıllarda araştırmacılar tarafından oldukça dikkat çeken Endüstri 4.0 ile çok farklı alanlarda çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle üretim alanlarında değişen teknolojileri ve inovasyonları kapsamaktadır. Tablo 1'de özellikle son üç yılda Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar ve konularını ile gösterilmektedir.

Tablo 1. Endüstri 4.0 ile ilgili son üç yıla ait çalışmalar

İncelenen Konular	Yazarlar ve Yıllar
Endüstri 4.0	Pan vd. (2015); Alçın (2016); Qin vd. (2016); Tuncel ve Polat (2016); Aksoy (2017); Öztürk ve Koç (2017); Aydın (2018); Kılıç ve Alkan (2018); Yalçın (2018); Altan (2018); Gençtürk&Öztürkoğlu (2020)
SFS	Lee vd. (2015);Timm&Lorig (2015);Monostori vd. (2016); Bartodziej (2017)

Akıllı Fabrika	Faller ve Feldmüller (2015); Bozkurt ve Durdu (2016); Aktan ve Tosun (2017); Yıldız vd. (2018)
Nesnelerin İnterneti	Madakam vd. (2015); Erturan ve Ergin (2017); Doyduk ve Tiftik (2017)

Tablo 1' de görüldüğü gibi Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar ve içerikleri şu şekilde sıralanmaktadır; Pan vd. (2015, p. 1537) Endüstri 4.0 teknolojilerini Singapur'da yer alan çevreyle ilgili sanayi alanının tasarımı ve optimizasyonu için tanımlamıştır. Alçın (2016, s.20) Endüstri 4.0'ın temel özelliklerini ve olası yansımalarını ele almıştır. Qin vd. (2016) Endüstri 4.0 kavramına ait temel konseptleri araştırmış ve fabrika, iş, ürün ve müşteri olarak 4 katmanlı bir yapı üzerinden analiz etmiştir. Ek olarak çalışmada; mevcut üretim sistemi ve akıllı üretim olarak da adlandırılan Endüstri 4.0 arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Tuncel ve Polat (2016) 250 farklı firmayı analiz ederek Endüstri 4.0 bileşenleri ve firmaların bu seviyeye ulaşmak için neler yapması gerektiğini incelemiştir. Rosendahl (2016) değer zinciri yönetimi bakış açısı ile Endüstri 4.0 alanında analizler gerçekleştirmiştir. Aksoy (2017) çalışmasında Endüstri 4.0'a ait olan teknolojik gelişmelerin sermaye birikimi-teknolojisi ilişkisi üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Kılıç ve Alkan (2018) yeni sanayi devrimi olan Endüstri 4.0'ın Dünya ve Türkiye'deki yansımalarını Ar-Ge harcamaları, endüstriyel robot üretimi ve ihracatı ve Ar-Ge personeli istihdam oranı üzerinde durarak incelemiştir. Yalçın (2018) çalışmasında yaşanan teknolojik gelişmelerin ve Endüstri 4.0'ın Türkiye üzerinde yaratacağı olası fırsat ve tehditleri değerlendirmiştir. Altan (2018) Endüstri 4.0 kapsamında dijital dönüşüm dinamiklerinin temelini oluşturan inovasyonel bakış açısının, Türkiye'deki örgüt yapısına etkileri ile Türkiye'nin inovasyon ve rekabetçilik endekslerindeki sıralamasının eğitim sistemindeki eksik noktalarla ilişkisini incelemiştir.

Fiziksel dünya ile siber dünya arasındaki iletişim ve koordinasyonu içeren yapıların bütünü Siber Fiziksel Sistemler (SFS) olarak adlandırılmaktadır (Alçın, 2016). Lee vd. (2015) akıllı üretim sistemi olarak da nitelendirilen Endüstri 4.0 ile birlikte gelişen SFS temel bileşenlerinin üretim hattı üzerindeki etkilerini açıklamıştır. Timm ve Lorig (2015) bir simülasyon çalışması yaparak SFS'lerin çalışma mekanizmalarını incelemiştir. Monostori vd. (2016) ise üretim hattında SFS uygulaması yaparak, sistemin olumlu ve olumsuz yanlarını ortaya çıkarmıştır. Karabegović (2017) 4.Sanayi Devrimi'nin belirleyicisi olan dijital teknolojilerin toplum ve üretim sürecindeki etkisini gözden geçirmiştir. Bartodziej (2017), SFS ile Endüstri 4.0 yaklaşımının entegre bir sistem önerisinde bulunmuştur.

Endüstri 4.0 ile birlikte ortaya çıkan akıllı fabrikalar ile ilgili çalışmalar şu şekilde özetlenmektedir; Faller ve Feldmüller (2015) küçük ve orta ölçekli işletmelerin akıllı fabrika sürecine geçişini incelemiştir. Bozkurt ve Durdu (2016) örnek bir fabrika modeli dağıtılmış bir şekilde kontrol edilerek akıllı bir yaklaşım gerçekleştirmiştir. Ayrıca, Radyo Frekans ile Tanımlama (RFID) teknolojisi ile sistem optimizasyonuna da katkıda bulunulmuştur. Aktan ve Tosun (2017) çalışmasında, bir işletmenin üretim tesisini akıllı bir fabrikaya dönüştürmesi veya yeni bir akıllı fabrika kurması kararını etkileyen kriterleri belirlemiş, kriterleri etkileme ve bağımlılık seviyelerine göre gruplandırmış ve aralarındaki etkileşimleri analiz etmiştir. Yıldız (2018) çalışmasında Endüstri 4.0 kavramını ve bu akıllı üretim sürecinin temel paradigmasını açıklamıştır.

IoT bir teknoloji türü olmaktan ziyade, Endüstri 4.0 ile literatüre giren yeni bir inovasyon olarak nitelendirilmektedir (Bartodziej, 2017). Madakam vd. (2015) nesnelerin interneti ile diğer teknolojilerin günlük hayatımızda kullanımını gözden geçirmişlerdir. Zarte ve Pechmann (2016) bilgi teknoloji süreçlerinin analizi konusunda çalışmalar yapmıştır. Erturan ve Ergin (2017) çalışmalarında, geleceğin işletmelerinde nesnelerin interneti kavramının stok döngüsü üzerine etkilerini incelemişler ve uygulama sayesinde insana özgü hataların azaltıldığı ve denetim sürecindeki verimliliğinin arttığı belirtmişlerdir. Doyduk ve Tiftik (2017) çalışmasında 'Nesnelerin İnterneti' kavramını işletmelerde iş modelleri ve verimlilik üzerindeki etkisini analiz etmiş ve bu teknoloji ile birlikte gereksinim duyulan iş fırsatlarının ve yeni iş modellerinin içeriğinin oluşturan unsurları vurgulamıştır.

Hofmann ve Rüsç (2017) Endüstri 4.0 bileşenlerinin gelecekte lojistik sistemlerine lojistik merkezli bir model kurarak ne şekilde etki edeceğini araştırmıştır. Witkowski (2017) veri madenciliği ve nesnelerin interneti gibi bileşenlerin lojistik sektörüne etkisini analiz etmiştir. Erturan ve Ergin (2017) çalışmalarında, geleceğin işletmelerinde nesnelerin interneti kavramının stok döngüsü üzerine etkilerini incelemişler ve uygulama sayesinde insana özgü hataların azaltıldığı ve denetim sürecindeki verimliliğinin arttığı belirtmişlerdir. Şekkeli ve Bakan (2018) Endüstri 4.0 ve bunun etkisi ile yeni bir kavram olarak ortaya çıkan Lojistik 4.0'ın temel özellikleri açıklamıştır. Öztemel ve Gürsev (2018) çalışmasında 4. Sanayi Devrimi ile birlikte oluşan fırsatların ve yeniliklerin Türkiye'deki lojistik yönetimine etkisini detaylı olarak irdelemiştir. Bu kavram ile birlikte lojistik sektöründe uygulanan inovatif çözümlerin sektör üzerindeki etkilerine dikkat çekilmiştir.

Literatüre bakıldığında, Endüstri 4.0 ile ilgili çok farklı alanlarda da çalışmaların yapılmaya başlandığı

görülmüştür. Shi vd. (2017) plastik cerrahide kullanılmak üzere bir model kurgulamış ve arttırılmış gerçeklik teknolojilerinden faydalanarak sağlık sektörünü Endüstri 4.0 yapısına dahil etmiştir. Öztürk ve Koç (2017) mobilya endüstrisinin Endüstri 4.0'a yaklaşımı, Endüstri 4.0'ın mobilya endüstrisine olası etkileri, geçiş ve dönüşüm süreci değerlendirilmiştir.

Sayılğan ve İşler (2017) Endüstri 4.0 devriminin başta tıbbi cihaz olmak üzere sağlık sektörü üzerindeki olası etkilerini incelemiştir. Öymen (2017) çalışmasında Endüstri 4.0 bağlamı kapsamında teknoloji firmalarıyla işbirliği içinde olan moda markalarını ele almış Endüstri 4.0'ın etkisi olan giyilebilir teknolojinin geçmişten bugüne kadar olan değişimini inceleyerek örnek vakalar üzerinden gelecekte planlanan giyilebilir akıllı teknolojiler hakkında bilgi vermiştir. Yıldız ve Yıldırım (2018) yapay zeka ve robotik sistemlerin kütüphanecilik mesleğine olan etkisini açıklamışlardır. Topsakal (2018) çalışmasında akıllı turizm kapsamında engelli dostu mobil hizmetleri incelemiş ve Endüstri 4.0 teknolojilerinden, Türkiye turizmin engelli dostu olması için nasıl faydalanabileceği hakkında öneriler sunulmuştur.

Endüstri 4.0 literatüre incelendiğinde, birçok farklı alanlarda çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Ancak Endüstri 4.0 ve lojistik süreç entegrasyonu ile ilgili sadece birkaç çalışma vardır. Bu çalışmaların başında; Witkowski (2017, s. 763) lojistik 4.0 uygulamalarının tedarik zinciri üzerine etkilerini incelemiştir. Özetmel ve Gürsev (2018, s. 158) lojistik yönetiminde Endüstri 4.0 etkilerini yatırım imkânları çerçevesinde incelemişlerdir. Şekkeli ve Bakan (2018, s. 17) lojistik 4.0 dair öngörüler yapmışlardır. Görüldüğü gibi Endüstri 4.0'ın lojistik süreçlerine etkileri ve süreçlerinin yapılandırılmasına ilişkin şu ana kadar bir çalışma yapılmamıştır. Bir sonraki bölümde, Endüstri 4.0 yaklaşımı ile etkilenen ve değişen lojistik süreçleri için çözüm önerileri sunulmaktadır.

4 | ENDÜSTRİ 4.0 YAKLAŞIMI İLE LOJİSTİK SÜREÇLERİNE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Dünyayı saran Endüstri 4.0 akımı ile beraberinde özellikle üretim alanında birçok farklı teknolojinin doğmasına ve gelişmesine sebep olmuştur. Gelişen her teknoloji ile birlikte yeni inovasyonlar ortaya çıkmaktadır. Tıpkı üretim süreçlerinde olduğu gibi lojistik süreçlerinin de bu yeniliklere ve değişime hızlı bir şekilde adapte olması gerekmektedir. Endüstri 4.0 ile gelişen kavramlar ve bu kavramların lojistik süreçlerinde kullanılması aşağıda detaylıca anlatılmıştır.

Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT, fiziksel nesnelere ile internet arasındaki bağlantıyı temel alan farklı teknolojileri ve yaklaşımları birleştiren yeni bir terimdir (Pereira & Romero,

2017). Bir başka deyiş ile fiziksel dünyadaki nesnelerin içinde gömülü olan sensörlerin kablosuz ya da kablolu bağlantılar aracılığıyla internete bağlanmalarına olanak sağlayan bir sistemi ifade etmektedir. Bu sistem içinde yer alan sensörler, nesnelerin interneti ağında veri toplama cihazları olarak görevlendirilmektedir (Banger, 2016).

Lojistik süreçlerde IoT kullanımı, endüstriyel internet ağı sayesinde internete bağlı olan nesnelerin hem birbirleriyle hem de kontrol merkezleriyle iletişim kurabilmesini sağlamaktadır. Taşıma, elleçleme, üretim ve paketleme yapan teknolojilerin birbirlerinden haberdar olabildiği bir akışta, süreç takibi ve karar verme süreci tek bir elden gerçekleştirilebilecektir. Aynı zamanda makineler arızalanmadan bakım süreleri geldiğinde bilgi verebilecek ve bozulma ihtimalini önceden tespit edebileceği için lojistik süreçte zaman kaybı olmadan ürünler tam zamanında müşterilere teslim edilebilecektir.

Siber Fiziksel Sistemler (SFS)

Fiziksel ve dijital dünyanın birbirleriyle entegre olduğu üretim de tam otomasyona geçilen Endüstri 4.0 stratejisi, hem düşük maliyet ile birlikte üretimde verimliliği, esnekliği amaçlayan hem de şirketlerin ekolojik üretime geçmesine yardımcı olan akıllı fabrika olarak tanımlanmaktadır (Maslarić vd. 2016).

Lojistik süreçlerde SFS ile makineler kendi arasında iletişim kurarak, iç lojistik süreçler ihtiyaç doğrultusunda makineler tarafından düzenlenebilmektedir. Örneğin, üretim hattında bitmiş yarı mamuller, makinelerden gelen sinyaller doğrultusunda elleçleme için kullanılan makinayı o üretim hattına yönlendirebilmektedir veya kullanılan malzemenin azalması durumunda yine makinadan gelen veriye göre gerekli malzemenin siparişi otomatik olarak verilebilmektedir.

Büyük Veri

Boyutları, tipik veri tabanı yazılım araçlarının yakalamak, depolamak, yönetmek ve analiz etme kabiliyetinin ötesinde olan veri kümelerini ifade eder. Ancak bu tanım subjektiftir ve bir veri kümesinin büyük veri olarak kabul edilmesi için ne kadar büyük olmasının gerektiği konusunda hareketli bir tanımlama içermektedir. Zamanla teknoloji ilerledikçe, büyük veri niteliği taşıyan veri kümelerinin boyutunun da artacağı varsayılmaktadır (Saygılı ve Öztürkoğlu, 2017). İşletmelerin iç ve dış pazardaki yerini korumaya yardımcı olabilecek büyük veri analizi yöntemi kapasitesi büyük ve çeşitli olan verileri detaylı analiz ederek müşteri taleplerinin doğru tahminlenmesine ve üretim kalitesinin arttırılmasını sağlayacaktır.

Lojistik süreçlerin neredeyse her aşamasında tahminlemenin yeri oldukça önemlidir. Yanlış yapılan tahminleme tüm süreci gerek zaman gerekse maliyet

açısından oldukça olumsuz etkileyebilmektedir (Ozturkoglu & Esendemir, 2014). Büyük verileri kullanarak lojistik süreçlerin daha iyi yönetilmesi firmalara birçok avantaj sağlayacaktır. Büyük veriden anlamlı yorumlar çıkartarak potansiyel ve mevcut müşteriler hakkında bilgi edinilerek üretim ve lojistik süreçler tekrardan dizayn edilebilir.

Otonom Araçlar

Otonom araçlar, çevre koşullarını algılayarak kararlar alan ve aldıkları kararlar doğrultusunda hareket eden araçlardır (Uçar vd. 2019). Depoda kullanılmaya başlanan otomatik yükleme ve boşaltma sistemleri sayesinde operasyonel süreçlerde verimlilik artışı sağlanacaktır. Yeni dönemde, depo içindeki mal sayımı dronlar ile yapılarak depo yönetiminde kolaylık sağlanacaktır. Arttırılmış gerçeklik teknolojisi sayesinde ise operasyonel süreçler takip edilebilecek ve potansiyel tehlikeler tespit edilebilecektir. Otonom araçlar sayesinde üretim süresi kısıllanacaktır. İnsan emek gücünün yerini alan otomatik yükleme ve boşaltma sistemi karlılık artışı sağlayacaktır.

Araçların insan müdahalesine gerek kalmadan akıllı sistemlere sahip olması ulaşım performansında artış sağlayacaktır. Otonom veya sürücüsüz taşıtlar direksiyonu sürücünün yönettiği araçlara kıyasla daha güvenilir olmaktadır. Sürücüsüz otomobillerin etkisiyle elektrikli taşıtlar daha çok benimsenmektedir. Fosil yakıtta olan talebin azalması ile birlikte tüketilen karbon emisyon oranı da azalacak elektrik enerjisiyle çalışan taşıtlar sayesinde çevreye pozitif etkisi olacaktır.

Endüstri 4.0'ın çıkış amacı diğer sanayi devrimlerine benzer bir şekilde üretimin kalite ve yönünü değiştirmek olsa da yaratacağı etki tüm lojistik süreçlerini baştan sona değiştirecektir. 4.Sanayi Devrimi ile birlikte üretim, tüketim alışkanlıkları, operasyonel ve lojistik süreçler yeniden şekillenmekte ve yeni iş kolları ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 bileşenlerinin lojistik süreçlerine etkisini geleneksel süreçleri karşılaştırarak incelemektir.

5 | ENDÜSTRİ 4.0 YAKLAŞIMI İLE DEĞİŞEN LOJİSTİK SÜREÇLERİ

Lojistik süreçlerinin her bir aşamasında, hem müşteri hem de tedarikçi açısından ortak beklenti lojistiğin yedi doğrusunu (doğru ürün, doğru şartlarda, doğru miktarda, doğru yerde, doğru zamanda, doğru müşteriye ve doğru maliyet) eksiksiz yerine getirmektir. Lojistik; tedarik lojistiği, materyal yönetimi ve fiziksel dağıtım olmak üzere üç temel süreçten oluşmaktadır (Johnson, 1998). Tedarik lojistiği; üretimde kullanılacak hammadde veya yarı işlenmiş ve henüz son ürün haline gelmemiş

girdilerin, tedarikçilerden üretim yerine ulaştırılması için gerekli tüm süreçleri ifade eder. Materyal yönetimi; fabrika içi tüm lojistik faaliyet süreçlerini kapsamaktadır. Fiziksel dağıtım ise bitmiş ürünü üretim yerinden son kullanıcıya ulaştırana kadar geçen tüm süreçlerle ilgilenmektedir. Tablo 2'de geleneksel lojistik süreçlerinin Endüstri 4.0 yaklaşımı ile nasıl farklılaştığını göstermektedir.

Dijital dönüşümü gerçekleştirmek isteyen bir şirketin, üretim, operasyonel ve işgücü maliyetinin azalacağı, lojistik süreçlerindeki verimliliğin sağlanması ile birlikte sürecin daha hızlı gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

Büyük veri analizinde kullanılan gelişmiş yazılım sistemleri aracılığıyla, tedarikçiler, stok seviyesini takip edebilecek, yeni siparişlerle ilgili bilgileri eş zamanlı bir biçimde elde edebileceklerdir. Bu sayede, stok yönetimi daha pratik ve hatasız yönetilebilecektir (Facchini vd 2020). Geçmiş satış verileri ise analiz edilerek, geleceğe yönelik daha etkin bir talep tahmini yapılabilecektir. Böylece, karar verme süreleri kısalarak, daha doğru ve gerçek zamanlı bir karar verme süreci gerçekleşecektir. Ayrıca, büyük veri ve bulut bilişim depolama sistemi sayesinde, hem şirket içi maliyet azalacak hem de tam zamanlı lojistik uygulamaları en yüksek verimde sağlanacaktır.

Akıllı bir fabrikada üretimin insan yerine yapay zekânın yönettiği robotlar ile gerçekleşmesi, insan kaynaklı gerçekleşen hataları ortadan kaldıracak ve kusurlu parça üretim oranında azalma sağlayacaktır (Adeitan vd. 2019). Artan ve gelişen Ar-Ge ve teknopark alanları kaliteli bir üretim anlayışında önemli bir yer tutmaktadır. Makinaların bozulma ihtimaline karşı uyarı verdiği ve bakım süresini hatırlattığı bir süreçte ise aksama olmayacaktır. Üretim süresindeki kayda değer hızlanma direkt olarak teslimat süresine etki edecektir. Ayrıca, yüksek sıcaklık, yüksek hacim ve zehirli gazların ağırlıklı olduğu işlerin robotlar aracılığı ile gerçekleşmesi iş güvenliği riskini de ortadan kaldıracaktır. İleri robotik sistemleri ile gerçekleşen bir üretim akışında çalışma zamanı sınırlanılmayacak, insan gücünün olmadığı bir süreçte işgücü maliyeti ve üretim maliyeti azalacaktır. Akıllı üretim sistemine geçen firmalar ise buldukları yerden kolaylık ile üretim sürecini kontrol edebileceklerdir. Bu sisteme geçmeyen firmalar ise rekabet avantajı elde edemeyeceklerdir. Akıllı fabrikalar, bir başka deyişle karanlık fabrikalar, sürdürülebilirlik açısından da önemli bir rol oynamaktadır (Tang ve Veelenturf, 2019). Aydınlatma ve ısınmaya ihtiyaç duyulmadan üretimin gerçekleşmesi, enerji tüketiminin azalmasına sebep olacak ve iklim değişikliğine karşı karbondioksit salınımını azaltacaktır.

Tablo 2. Endüstri 4.0 yaklaşımı ile değişen lojistik süreç yönetimi

Temel Lojistik Süreçler	Geleneksel Alt Lojistik Süreçleri	Endüstri 4.0 Yaklaşımı ile Lojistik Süreç Yönetimi	Lojistiğin Yedi Doğrusu
Tedarik Lojistiği	Satın Alma	Büyük veri ile tedarikçi karar verme süreci hızlanmaktadır.	Doğru Maliyet
	Sipariş Verme	Büyük veri ve bulut bilişim sistemi ile sipariş sürelerinin azaltılması ve siparişlerin önceden tahmin edilmesi	Doğru Miktar
	Taşıma	Otonom araçlar ile maliyet, güvenlik ve zaman unsurlarının olumlu yönde değişmesi	Doğru Yer; Doğru Zaman
Materyal Yönetimi	Üretim	Akıllı fabrika, ileri robotik sistem ile maliyetlerin ve kusurlu parça üretim oranının azalması Ekolojik üretim ile çevreye daha duyarlı üretim Robotlar ile daha hızlı üretim	Doğru Ürün; Doğru Zaman; Doğru Miktar; Doğru Şartlar
	Taşıma	Otonom araçlar; maliyet, güvenlik, zaman unsurlarının değişmesi Dronlar ile trafik yoğunluğunun değişmesi	Doğru Yer; Doğru Zaman
	Envanter Yönetimi	Büyük veri ile daha güvenilir tahminlerde bulunarak stok tutma	Doğru Miktar; Doğru Maliyet
	Paketleme & Elleçleme	İleri robotik makinalar ile daha hızlı ve güvenli paketleme ve elleçleme	Doğru Şartlar; Doğru Maliyet; Doğru Miktar
	Kalite	Otomasyon üretim sayesinde kusurlu parça üretim oranında azalma Teknolojik ARGE çalışmaları ile kusurlu ürün üretilmeden önleme	Doğru Şartlar
Fiziksel Dağıtım	Depolama	Otomatik yükleme-boşaltma ve ayrışma sistemleri ile artan verimlilik Sanal gerçeklik teknoloji ile daha hızlı ve hatasız sipariş toplama	Doğru Şartlar; Doğru Ürün;
	Taşıma	Otonom araçlar; maliyet, güvenlik, zaman unsurlarının değişmesi	Doğru Müşteri; Doğru Yer; Doğru Zaman

Otonom araçlar ve insansız hava aracı olarak adlandırılan dronlar ile taşımacılığın yönü değişecektir. Otonom araç içerisinde yer alan otomatik kontrol sistemleri ve ultrasonik sensörler, kamera ve radar vasıtasıyla sürüş süresince takip mesafesi sağlayacak, levhalardaki görsel ve bilgilere göre aracı yönlendirecek, hızını hız limitine göre ayarlayacaktır. Bu sayede, şoför kaynaklı hatalar azalacak ve düzgün bir trafik akışı sağlanacaktır. Sürücü stresinin olmadığı bir trafikte ulaşımda güvenlikte artmaktadır. Sürücü olmadan gerçekleşen bir sevkiyatta, ücret, sigorta ödeneği veya trafikte yapılan bir hatadan kaynaklı ceza ödemesi olmadığından firma içi sabit maliyet düşecektir. Daha etkin bir taşımacılık için ise araç kapasiteleri genişletilecektir. Yakıt tasarrufu olacağından yakıt

maliyeti de azalacaktır. Dron sevkiyatının başlaması ile birlikte kara trafiğindeki yoğunluk azalacak ve ürünler gecikmeden, tam zamanında müşteriye teslim edilebilecektir. Ek olarak, elektrikli otonom araçlar ve pil teknolojisi ile çalışan dronlar sayesinde atmosfere yayılan karbon salınımı azalacaktır.

Yeni nesil depo otomasyonu teknolojiler ile depolama süreci tamamen otomatik olacaktır. Sevkiyat robotları aracılığı ile ürünler daha kısa sürede ve hatasız bir şekilde üretim akışında sırası gelen hammadde ve ihtiyaç duyulan diğer malzemeleri otomatik bir şekilde ayırabilecek ve nihai ürünleri araçlara yükleyecektir. Paketleme sürecinde de temel bir yeri olan robotlar hem zaman kaybını önleyecek hem de indirgenmiş insan kaynaklı hatalardan dolayı operasyonel süreçteki verimliliği arttıracaktır.

6 | SONUÇ

Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan yeni sanayi devrimi ile gerek üretim gerekse hizmet sektöründe birçok yenilik oluşmaya başlamıştır. Özellikle, üretim süreçlerinin baştan sona yeniden dizayn edilmesi hem maliyetlerin azaltılması için hem de rakipler arasında geri kalmamak için kaçınılmaz olmuştur. Yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde, Endüstri 4.0 ve üretim hatlarının uyumu, değişimi ve yapılan yenilikler üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır. Ancak, en az üretim sektörünün etkilenmesi kadar lojistik sektörünün de Endüstri 4.0 etkileri fazlasıyla hissedilmektedir. Bu yeni sanayi devrimi ile lojistik süreçler güncellenmeli ve yeni teknolojilere uyumlu hale getirilmelidir. Ancak bu değişime uyum sağlarken lojistiğin temel yapı taşı olan ve lojistiğin yedi doğrusu olarak adlandırılan; doğru ürün, doğru şartlarda, doğru miktarda, doğru yerde, doğru zamanda, doğru müşteriye ve doğru maliyet kavramları eksiksiz yerine getirilmelidir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği inovasyonlar lojistik sektörü çerçevesinde incelenmiştir. Mevcut lojistik süreçlerin, bu yeni sanayi devrimi ile nasıl değişime uğradığı, bu değişim ile olası problemler ve çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca değişen süreçler, lojistiğin temel yapı taşlarından lojistiğin yedi doğrusu temeline oturtularak yeniden değerlendirilmiştir.

Küreselleşen bir dünyada, hızla değişen müşteri talep ve gereksinimleri, artan rekabet koşulları ve internet teknolojisinin gelişiminden kaynaklı işletmelerin 'hız ve esneklik' kavramlarına adapte olması zorunlu hale gelmiştir. Dijital çağın bu kadar içimizde olduğu bir ortamda ise, firmaların 'verimli üretim' yapma arzusu kaçınılmazdır. Bu aşama da Endüstri 4.0 konseptinin bir ihtiyaç doğrultusunda ortaya çıktığını söylemek doğru olur.

Lojistik 4.0 kavramlarının uygulamasının işletmelere büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Hammadde temininden, tüketiciye kadar olan tüm süreçlerde lojistik faaliyetlerinin önemi büyüktür. Ürünün müşteriye hızlı bir şekilde sunulması, üretimden paketlemeye, depolamadan sevkiyata kadar olan tüm işlemlerin hızlı ve esnek olmasını zorunda kılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, lojistiğin 7 doğrusu temel alarak, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar ve çalışanlar arasında entegrasyonu sağlayacak altyapının oluşturulması gerekmektedir. Yoğun rekabet ortamı ile lojistik sektörü, sürekli gelişmeyi izlemeyi, bu yolda da teknoloji ve dijital dünyanın getirdiği yeniliklere ihtiyaç duymaktadır. Her ne kadar emek gücünü minimize eden bir sistem ile karşı karşıya kalsak da, tamamen yok edilmiş değildir. Tüm bu süreçleri kusursuz yürütebilecek, nitelikli emek gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da iyi bir eğitimden geçmektedir. Bu konuda eğitim kurumlarına çok iş düşmektedir. Gelecekteki lojistik eğitimlerinin, yeni teknolojiler göz önünde

bulundurularak hazırlanması gerekmektedir. Ek olarak, Endüstri 4.0 kavramı, getirdiği teknolojilerin sağladığı yararlar ve sosyo-ekonomik sürdürülebilirlik için ne kadar önemli olduğu konusunda lojistik firmalarında yeterli bilincin oluşturulması ve bu bilincin kurum kültürüne dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Lojistik sektöründe, Lojistik 4.0 kavramlarından da olan veri madenciliği, nesnelerin interneti, ileri robotik teknolojileri kullanılmaya başlansa da tam anlamıyla bahsi geçen dijital düzeye ve kendi kendine yönetebilecek özerk bir yapıya dönüştüğünü söylemek mümkün değildir. Bu hedefin, ancak orta ve uzun vadede gerçekleştirilebileceği bilinmeli ve bu konuyla ilgili yapılan çalışma ve uygulamalar arttırılmalıdır. Bir fabrikanın Lojistik 4.0 teknolojileri ile donatılmış akıllı fabrika 'ya dönüşmesi büyük yatırım gerektirmektedir. Otonom ve elektrikli taşıtların dolayısıyla yenilenen yakıt ve enerji kaynaklarının lojistik sektöründe kullanılmasının verimliliği arttıracığı dair öngörüler olsa da sevkiyat sürecinde önemli rol oynamasını beklediğimiz dron teknolojisi ve otonom araçlar ise henüz aktif kullanılmaya başlanmamıştır. Bu konuyla ilgili güvenlik tehdidinin çözülmesi otonom araçların yanı sıra elektrikli araçlarında kullanılmaya başlanması için gerekli altyapının kurulması gerekmektedir.

Özetlemek gerekirse, 21. yy'da yeni dijital çağ ile gelişen teknolojiye sahip olmayan, onu üretemeyen ve süreçlerinde kullanamayan şirketler, dünyanın gerisinde kalarak belirli bir süre sonra tamamen silineceklerdir.

7 | KAYNAKÇA

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in logistics and supply chain management: A systematic literature review. *Engineering Management Journal*, 1-15.

Adeitan, A. D., Aigbavboa, C., & Agbenyeku, E. E. O. (2019). Global Logistics in the Era of Industry 4.0. In *Proceedings of the Future Technologies Conference* (pp. 652-660). Springer, Cham.

Aksoy, S. (2017). Değişen teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı anlamaya dair bir giriş. *SAV Katkı*, (4), 34-44.

Aktan, H.E., & Tosun, N. (2017). Akıllı fabrika uygulanması kararını etkileyen kriterlerin ISM&MICMAC yöntemleri ile değerlendirilmesi. 3rd International Conference on Economic and Social Impacts of Globalization, 120-129.

Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(8), 19-30.

Altan, S. (2018). Türkiye'deki yenilikçi örgütleri arttırabilmek için, eğitim sistemine inovasyon kavramı üzerinden bir bakış ve çözüm önerileri. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 5(2), 124-139.

Aydın, E. (2018). Türkiye'de teknolojik ilerleme ile istihdam yapısındaki değişme projeksiyonu: Endüstri 4.0 bağlamında ampirik analiz. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 16(31), 461-471.

Banger, G. (2016). Endüstri 4.0 ve akıllı işletme. Ankara: Dorlion Yayınevi.

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.

Bartodziej, C. J. (2017). *The concept Industry 4.0: An empirical analysis of technologies and applications in production logistics*. Wiesbaden: Springer Gabler.

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.

Bozkurt, Ü.İ., & Durdu, A. (2016). Akıllı fabrikalarda dağıtılmış kontrol sistemleri uygulaması ve RFID yaklaşımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DUMF) Mühendislik Dergisi*, 8(3), 515-523.

Çakılcı, C., & Öztürkoğlu, Y. (2020). Analysis of sustainable e-logistics activities with Analytic Hierarchy Process. *Journal of Business Research-Turk*, 12(1), 489-497.

Çalışkan, A., Karacasulu, M., & Öztürkoğlu, Y. (2016). Hizli moda markalarında çevik ve esnek tedarik

zinciri yönetimi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(4), 49-74.

Dev, N. K., Shankar, R., & Qaiser, F. H. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104583.

Doyduk, H.B., & Tiftik, C. (2017). Nesnelerin interneti: kapsamı, gelecek yönelimi ve iş fırsatları. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 52(3), 127-147.

Erturan, İ.E., & Ergin, E. (2017). Muhasebe denetiminde nesnelerin interneti: stok döngüsü. *Muhasebe ve Finansman Dergisi (MUFAD)*, 75, 13-30.

Facchini, F., Oleśków-Szłapka, J., Ranieri, L., & Urbinati, A. (2020). A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. *Sustainability*, 12(1), 86.

Faller, C., & Feldmüller, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *The 5th Conference on Learning Factories*, 32, 88-91.

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The industrial internet of things*. Apress.

Gençtürk, S., & Öztürkoğlu, Y. (2020). Yeni nesil perakendecilik: KOVID-19 sürecinde marketten eve hizmet inovasyonu araştırması. *Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 9(2), 49-69.

Gotz, M. & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0- do they fit together?. *European Planning Studies*, 25(9), 1633-1653.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928-3937.

Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.

Johnson, P. F. (1998). Managing value in reverse logistics systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34(3), 217-227.

Kolat, D., Kökcü, H. A., Kiranli, M., Özbiltekin, M., & Öztürkoğlu, Y. (2019, August). Measuring service quality in the logistic sector by using SERVQUAL and best worst method. In *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019* (pp. 720-731). Springer, Cham.

Kılıç, S., & Alkan, R.M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 29-49.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based

manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.

Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.

Madakam, S. (2015). Internet of things: smart things. *International Journal of Future Computer and Communication*, 4(4), 250-253.

Maslarić, M., Nikoličić, S., & Mirčetić, D. (2016). Logistics response to the industry 4.0: the physical internet. *Open Engineering*, 1.

Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), 621-641.

Nagy, G., Illés, B., & Bányai, Á. (2018, November). Impact of Industry 4.0 on production logistics. In XXIII International Conference on Manufacturing (Manufacturing 2018), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (Vol. 448, pp. 1-9).

Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Ozturkoglu, Y., & Esendemir, E. (2014). ERP software selection using IFS and GRA methods. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 5(5), 363-370.

Öztemel, E., & Gürsev, S. (2018). Türkiye'de lojistik yönetiminde Endüstri 4.0 etkileri ve yatırım imkanlarına bakış üzerine anket uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(2), 157-168.

Öztürk, E., & Koç, H. (2017). Endüstri 4.0 ve mobilya endüstrisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 786-794.

Öymen, G. (2017). Giyilebilir teknolojilerin moda endüstri üzerindeki etkileri. 1.Uluslararası İletişimde Yeni Yönelimler Konferansı, 131-138.

Pan, M., Sikorski, J., Kastner, C.A., Akroyd, J., Mosbach, S., Lau, R., & Kraft, M. (2015). Applying Industry 4.0 to the Jurong Island eco-industrial park. *Energy Procedia*, 75, 1536-1541.

Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.

Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia Cirp*, 52, 173-178.

Sanal, A., & Öztürkoğlu, Y. (2017). Hizmet sektöründe QR kod kullanım alanlarına yönelik bir alan çalışması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 5(4), 172-189.

Saygili, E. E., & Ozturkoglu, Y., Corporate governance and social responsibility issues in code of ethics. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 19(2), 378-388.

Sayılğan, E., & İşler, E. (2017). Medikal Endüstri 4.0 ile tıbbi cihaz sektörü (Medical devices sector in medical Industry 4.0). *Tıp Teknolojileri Kongresi (TIPTEKNO)*, Trabzon.

Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0: Potentials for creating smart products: Empirical research results. 18th International Conference on Business Information Systems (LNBIP), Poland.

Shi, Y., Lin, L., Zhou, C., Zhu, M., Xie, L., & Chai, G. (2017). A study of an assisting robot for mandible plastic surgery based on augmented reality. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 26(1), 23-30.

Şekkeli, Z.H., & Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın etkisiyle Lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 5(2), 17-36.

Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 344-358.

Tang, C. S., & Veelenturf, L. P. (2019). The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 1-11.

Timm, I. J., & Lorig, F. (2015). Logistics 4.0: A challenge for simulation. *Winter Simulation Conference (WSC)*, 3118-3119.

Tuncel, C., & Polat A. (2016). Sectoral system of innovation and sources of technological change in machinery industry: An investigation on Turkish machinery industry. *Social and Behavioral Sciences*, 229, 214-225.

Yalçın, M.F. (2018). Küresel rekabette Türkiye açısından dönüm noktası: Sanayi 4.0. *Sosyoekonomi*, 26(36), 225-233.

Yıldız, M., & Yıldırım, B.F. (2018). Yapay zekâ ve robotik sistemlerin kütüphanecilik mesleğine olan etkileri. *Türk Kütüphaneciliği*, 32(1), 26-32.

Yıldız, A., Karakoyun, F., & Parlak, İ.E. (2018). Endüstri 4.0 temelli dijital tedarik zinciri. *Mühendislik Alanında Akademik Araştırmalar*, 416-426.

Uçar, A. Bingöl, M. S., & Kaymak, Ç. (2019). Derin Öğrenme Kullanarak Otonom Araçların İnsan

Sürüşünden Öğrenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(1).

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-Papersonline*, 48(3), 579-584.

Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0-innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763-769.