



Endüstri 4.0'ın Lojistik Boyutu: Lojistik 4.0

Logistics Dimension of Industry 4.0: Logistics 4.0

Dilek Gönçer Demiral¹

* Sorumlu yazar
Corresponding author

¹Dr. Öğr. Gör., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Türkiye
Assist. Prof. Dr., Recep Tayyip Erdogan University, Turkey
dilek.goncerdemiral@erdogan.edu.tr
ORCID ID 0000-0001-7400-1899

Makale geliş tarihi / First received : 10.12.2020

Makale kabul tarihi / Accepted : 06.01.2021

Bilgilendirme / Acknowledgement:

- 1- Makalede etik kurulu izni ve/veya yasal/özel izin alınmasını gerektiren bir durum yoktur.
- 2- Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

This article was checked by *Turnitin*. Similarity Index 14%

Atıf bilgisi/Citation:

Gönçer Demiral, D . (2021). Endüstri 4.0'ın lojistik boyutu: Lojistik 4.0. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (9), 231-251.

ÖZ

Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler işletmeler açısından büyük bir dönüşümü tetiklemektedir. Özellikle içinde bulunduğumuz Covid-19 pandemi süreci, işletmeleri teknolojik uygulamalara hızlıca geçiş yapmaları ve kısa sürede adapte olmaları konusunda zorlamaktadır. Bu dönemde e-ticaretin artışı ile birlikte lojistik faaliyetlerindeki hız, esneklik, kalite ve maliyet kavramları da en plana çıkmaktadır. Böylesine rekabet ortamında işletmeler teknoloji ve teknoloji ile birlikte gelen değişimleri iş süreçlerine uygulayarak rakiplerine göre farklılık yaratarak avantaj elde edebilirler. Dijitalleşme ile birlikte Endüstri 4.0'ın doğuşu birçok sektörü kökünden değişikliğe uğratacağı gibi lojistik sistemlerini de etkilediği ve daha da etkileyeceği aşikardır. Bu çalışmanın amacı, özellikle son dönemde ivme kazanan Endüstri 4.0 uygulamaları ile etki altında kalan Lojistik 4.0'ın önemine vurgu yapmak ve tarihsel gelişimleri ile birlikte bu kavramları detaylı bir şekilde açıklamaktır. Çalışma kavramsal nitelikte olup, lojistik alanındaki teknolojiler ve bu teknolojileri kullanan sektörlerden örnekler eşliğinde bilgilendirici niteliktedir. Lojistiğin gelişimini etkileyen teknolojiler olgunlaşmış, büyüyen, gelişen ve üstel teknolojiler olarak kategorize edilmiş olup, alt başlıklarla açıklanmış ve örneklendirilmiştir. Örneklerle birlikte teknolojinin ileri düzeydeki uygulamalarının varlığı da ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler

Endüstri 4.0, Lojistik 4.0, Dijitalleşme, Lojistik Bilişim Sistemleri

ABSTRACT

Information technology developments trigger a major transformation for businesses. In particular, the Covid-19 pandemic process we are in forces businesses to transition to technological applications quickly and adapt in a short time. In this period, the concepts of speed, flexibility, quality and cost in logistics activities also come to the fore along with the increase in e-commerce. Businesses can gain advantage in such a competitive environment by making a difference compared to their competitors and by applying the technology and the changes that come with it to their business processes. It is obvious that the emergence of Industry 4.0 with digitalization will radically change many sectors and it has also affected and will further affect the logistics systems. This study is a conceptual framework and addresses the historical development of Industry 4.0 and its effects on Logistics 4.0. It includes the introduction of technologies that have an impact on the development of logistics and examples from different sectors and is an informative study for other studies to be conducted.

Keywords

Industry 4.0, Logistics 4.0, Digitalization, Logistics Information Systems

GİRİŞ

İşletmeler verimliliklerini ve karlılıklarını artırabilmek için her geçen gün iş süreçlerini iyileştirip daha iyi hizmet verebilecek yöntem arayışları içerisine girmektedirler. Ürün ve hizmetlerde farklılık yaratan, müşteri, kalite ve maliyet odaklı firmalar diğer rakiplerine göre rekabet avantajı sağlamaktadırlar. Bu da ancak, bilginin ve teknolojinin yeni iş modellerine en iyi şekilde uyarlanması ile gerçekleşebilmektedir. Günümüzde adını her alanda sıkça duyduğumuz Endüstri 4.0 veya Sanayi 4.0 bu anlamda işletmelere potansiyel çözümler sunmaktadır. Endüstri 4.0, işletmelerin dönüşüm sürecine yardımcı olan teknolojik araçlar içermektedir. Temelini dijitalleşmeden alan Endüstri 4.0'ın yenilikçi uygulamaları, birçok endüstri alanındaki gelişmeleri de oldukça hızlı bir şekilde tetiklemektedir. Barreto, Amaral, & Pereira (2017), Endüstri 4.0 devriminin sadece sanayide değil aynı zamanda, toplumda, ekonomide ve insan-makine etkileşimlerinin nasıl yönlendirilmesi gerektiği konusunda da köklü değişikliklere neden olduğunu ifade etmişlerdir. Üretimden satışa hatta müşteri hizmetlerine kadar birçok alan Endüstri 4.0'ın etkisinde kalmaktadır. Endüstri 4.0 dönüşümü işletmelere kalite maliyetlerinde %10-20, üretim maliyetlerinde %10-30, lojistik maliyetlerinde ise %10-20 oranında azalma sağlamaktadır (Aylak, Kayıkçı, & Taş, 2020).

Lojistik sektörünün, müşteri ihtiyaçlarına yönelik olarak yüksek verimlilik, esneklik, hızlı hareket etme ve karar alma ile ilgili karşı karşıya kaldığı zorlukları mevcuttur. İşletmelerin bu zorlukların üstesinden gelebilmesi modern teknolojileri kullanma ve yönetme şekline bağlıdır. Bu bir dönüşümü temsil etmektedir. Lojistik 4.0 veya "akıllı lojistik" olarak adlandırılan bu dönüşüm; lojistik operasyonlarında yüksek teknoloji sensörlerinin ve gelişmiş robotiklerin kullanımını, tüm tedarik zincirinin bilgi teknolojileri ile bağlantısını içermektedir (Jahn, Kersten, & Ringle, 2018). Bir tedarik zinciri içerisindeki tedarikçiler, üreticiler, perakendeciler ve müşteriler arasındaki işbirliği, koordinasyon ve iletişim dijitalleşme ve süreç otomasyonu ile sağlanabilmektedir (Tjahjono vd. 2017). Artık firmaların değil, tedarik zincirlerinin yarıştığı dünyamızda, Lojistik 4.0 işletmeler için büyük bir fark yaratan dönüşüm süreci olacaktır.

Covid-19 pandemi süreci nihai kullanıcı açısından olduğu kadar birçok endüstri dalında da teknolojinin hızla kullanımını gerektirmiştir. Bu süreç, işletmelerin iş modellerini zorunlu ve radikal olarak değişimlere uğratmıştır ve uğratmaya da devam edeceği aşikârdır. Bu dönem içerisinde e-ticaretin yaygınlaşması ve teslimatların artış göstermesi; yeni model ve yöntem arayışı içerisinde olan işletmelerin Lojistik 4.0'a hızlı bir şekilde adapte olmaları gerekliliğini doğurmuştur. Bu çalışmanın amacı, özellikle son dönemde ivme kazanan Endüstri 4.0 uygulamaları ile etki altında kalan Lojistik 4.0'ın önemine vurgu yapmak ve tarihsel gelişimleri ile birlikte bu kavramları detaylı bir şekilde açıklamaktır. Çalışma kavramsal nitelikte olup, lojistik alanındaki teknolojiler ve bu teknolojileri kullanan sektörlerden örnekler eşliğinde bilgilendirici niteliktedir. Lojistiğin gelişimini etkileyen teknolojiler olgunlaşmış, büyüyen, gelişen ve üstel teknolojiler olarak kategorize edilmiş olup, alt başlıklarla açıklanmış ve örneklendirilmiştir. Örneklerle birlikte teknolojinin ileri düzeydeki uygulamalarının varlığı da ortaya çıkarılmıştır.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

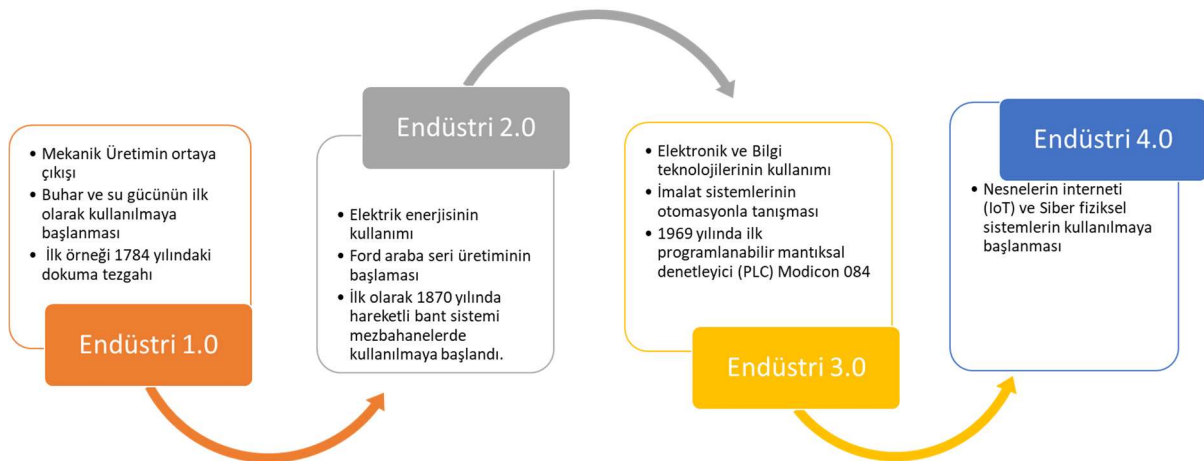
Endüstrinin Gelişim Süreci

Sanayi devrimleri, teknolojinin ilerlemesi ve gelişmesi ile birlikte kendini sürekli yenilemekte olup, insan hayatını etkileyen radikal değişimlerin olduğu dönemlerdir. Bu değişimlerden ilki 1712 yılında Buhar Makinesinin icadıdır. Bir bakıma buhar makinesinin buluşu ile Endüstri 1.0 (Sanayi Devrimi 1.0)'ın da temelleri atılmaya başlanmıştır. Su ve buhar teknolojisinin üretimde kullanılması ile birlikte insan merkezli atölye tipi üretimden, makine odaklı fabrika tipi üretime geçiş yaşanmıştır. Bu durum, üretimin artmasını sağlayarak, ülkelerin ekonomik anlamda gelişmesini de tetiklemiştir (Alçın, 2016). İngiltere'de başlamış olan Sanayi Devrimi 1.0, tüm dünyada yeni makinelerin artışı ile birlikte fabrikaların kurulmasını böylece üretimin ve verimliliğin artışı sağlamıştır.

Endüstri 2.0 dönemi 1870-1914 yılları arasında içermektedir. Endüstride demirin yanında çelik ve diğer kimyasal maddeler kullanılmaya başlanmış olup, buhar enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm yaşanmıştır. Elektrik enerjisi ilk olarak 1870 yılında hareketli bant sisteminin mezbahanelerde kullanımı ile başlamıştır. Bu dönemin en önemli inovasyonu Henry Ford'un "Model T" ismi verilen seri otomobil üretimidir. Çalışan her eleman, montajın belirli alanlarında yer alır ve böylece üretim seri bir şekilde gerçekleşir (Seyhan, 2019). İkinci Sanayi Devriminin birçok etkisi halen daha mevcuttur. Buzdolabı, mikroskop, plastik boya gibi kullanılan ürünler bu döneme aittir (Arslan & Demirağ, 2017).

Endüstri 3.0 olarak isimlendirdiğimiz dönemde, elektronik, bilgi teknolojileri ve internet kullanımı ile birlikte üretimde otomasyona geçilmiştir. İşletmelerin amacı küreselleşme ile birlikte dünyaya açılmak olmuştur. Bu dönem, üretimde birçok farklı yaklaşımın doğmasını sağlamıştır; daha kaliteli ve ucuz üretim, üretimde etkinlik vb. Firmalar kendi ürettikleri ürüne odaklanmış, uzman olmadıkları işleri "dış kaynak kullanımı (outsourcing)" ile farklı firmalara devretmişlerdir. Bu dönemdeki bilişim, iletişim ve haberleşme alanındaki gelişmeler işletmelerin üretimi ve performansı açısından belirleyici rol oynamaktadır (Özsoylu, 2017).

Şekil 1. Endüstrinin Gelişim Evreleri



Kaynak: Kagerman, Wahlster ve Helbig (2013)'den uyarlanmıştır

Üçüncü sanayi devriminin ardından, internetin yoğun kullanımı sonucu, geleneksel endüstrinin güçlü yönlerinin, bilgi ve iletişim teknolojileri ile entegre edildiği bir süreç olan Endüstri 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır. Henüz emekleme aşamasında olan Endüstri 4.0, fiziksel nesnelerin ve süreçlerin birbiri ile entegrasyonunu sağlayan, “akıllı” ürünler veya uygulamalar için gerekli olan teknolojileri içeren, içinde bulunduğumuz dönemdir (Hermann, Pentek, & Otto, 2016).

Endüstri 4.0

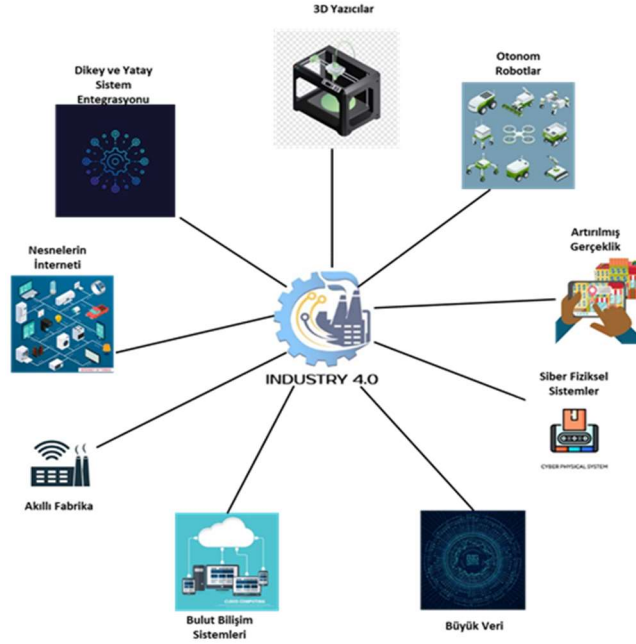
Endüstri 4.0 kavramı, dijital teknolojilerdeki gelişmeler için kullanılmaktadır. İlk üç devrim makineleşme, elektrik enerjisinin kullanımı ve bilgi teknolojisinin sonuçları iken (Lasi, Fettke, & Kemper, 2014), dördüncü devrim yeni ve daha verimli süreçler, yeni ürünler ve hizmetler sağlayan dijital teknolojilerinin kullanımı ile ilgilidir. İlk kez 2011 yılında Hannover Fuarı'nda Alman hükümetinin yüksek teknoloji projesinde kullanılmıştır. Endüstri 4.0 kavramı yazılım terminolojisine dayanmaktadır. Yazılım, versiyonlar ile karakterize edilir. Her versiyon, önceki versiyona kıyasla büyük bir değişikliğe işaret eder. “4” rakamı, 4. sanayi devrimi olarak yeni bir yazılım versiyonu anlamına gelir. “0” ise dördüncü sanayi devriminin yeni versiyonunun başlangıç noktasını işaret eder (Glistau & Machado, 2018).

Literatürde Endüstri 4.0'ın farklı tanımlamaları mevcut olmasına rağmen temelde aynı içeriklere sahiptir. Endüstri 4.0 , TÜSİAD (2016) tarafından siber-fiziksel sistemler ve dinamik veri işleme ile değer zincirlerinin uçtan uca bağlandığı sanayi devrimi; Barreto vd. (2017) tarafından, inovatif bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimini ve entegrasyonu; Büyüközkan & Güler (2019) tarafından, siber-fiziksel sistemleri ve nesnelerin interneti teknolojilerini temel alan devrim; Öztemel & Gürsev (2018) tarafından makine ağırlıklı imalattan dijital üretime dönüşüm şeklinde ifade edilmiştir. Endüstri 4.0'ı en iyi tanımlayan içeriklerden biri, siber-fiziksel sistemlerin kullanılmasıdır. Siber fiziksel sistemler, hesaplama, ağ oluşturma, gerçek ve fiziksel süreçlerin entegrasyonu anlamına gelip, yeni iş modellerinin ve süreçlerin oluşumuna temel oluşturur (Barreto vd., 2017). Siber fiziksel sistemler, işlemsel ve fiziksel yeteneklerin yeni yöntemler kullanılarak bütünleştirilmesi yoluyla, hem nesnelerle hem de insanlarla etkileşim sağlayan yeni nesil sistemlerdir (Şekkeli ve Bakan 2018). Rajkumar, Lee, Sha, & Stankovic (2010) siber fiziksel sistemleri, operasyonların bilgi işlem ve iletişim sistemleri ile izlendiği, koordine edildiği, kontrol edildiği ve entegre edildiği bir mühendislik sistemi olarak tanımlamaktadır. Siber fiziksel sistemlerin; sensörler, aktüatörler ve donanımlar fiziksel kısmını, yazılım modülleri ise siber kısmını temsil etmektedir (Yılmaz & Duman, 2019). Kısacası, siber fiziksel sistem teknolojileri, ürünlerin izlenmesinde, zincir içerisindeki elemanlarının güvenliğinin sağlanmasında, talep, stok ve satış hakkında bilgi sağlamada ve üretimdeki anormallikleri tahmin etmede kullanılabilir (Frazzon, Silva, & Hurtado, 2015).

Endüstri 4.0'ın yenilikçi uygulamaları, bilgi ve iletişim teknolojisinin üretim ve otomasyon teknolojisi ile birleştirilmesinin bir sonucudur (Henning, Wolfgang, & Johannes, 2013). Dijitalleşmeyi sağlayan teknolojilerin kullanımı ile birlikte akıllı üretim yaparak karar alma süreçlerini hızlandırmaktır (TOBB Report, 2018). Bu döneme aynı zamanda “Akıllı Fabrika Dönemi” veya “Akıllı Üretim Dönemi” de denilmektedir. Akıllı Fabrikalarda her makineyi yöneten bir bilgisayar yerine, tüm makinelerin denetimi tek bir bilgisayar tarafından yapılır. Böylece, otomasyon süreçlerinde tüm cihazlar ve makineler birbirleri ile haberleşerek, bir fabrikadaki süreçlerin baştan sonra kadar yönetilmesi sağlanır (“Endüstri 4.0 ve Sistem Entegrasyonları”, 2020). Akıllı fabrikalarda üretim hattı içerisindeki her bir bileşen birbirlerine

intranet veya internet ağı ile bağlanarak, üretimde hız, verimlilik ve esneklik artışı sağladığı gibi hataları, maliyetleri de düşürür. Bunların gerçekleşebilmesi için de büyük veri analizlerinden faydalanılır (TOBB Rapor, 2018). Akıllı fabrikalar, şimdiki üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında kaynak kullanımını artırır, üretimin de müşteri talepleri ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesini sağlar (Wan, Cai, & Zhou, 2015).

Şekil 2. Endüstri 4.0'ın Bileşenleri



Kaynak: BCG, 2016; Tüsiad, 2016.

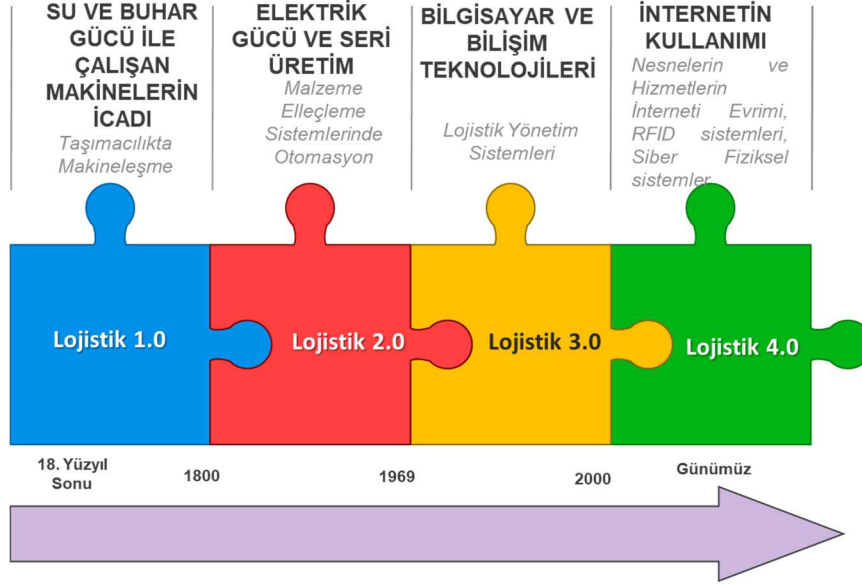
Endüstri 4.0 çözümleri taşıma, üretim, lojistik, enerji, bakım ve kalite gibi çeşitli maliyet unsurlarının azaltılmasında yardımcı olabileceği gibi, yeni iş modellerinin ve yeni planların kurulması ile de ek değer yaratır (Glistau & Machado, 2018). Endüstri 4.0, temelde 9 teknoloji ile açıklanabilir. Bunlar; Büyük Veri ve Analitiği, Otonom Robotlar, Simülasyon, Dikey ve Yatay Sistem Entegrasyonu, Nesnelerin İnterneti, Akıllı Fabrika, Siber-Fiziksel-Sistemler, Artırılmış Gerçeklik, Bulut Bilişim Sistemleri (Şekil 2). Kullanılan bu teknolojiler, tedarikçi, üretici ve müşteri düzeyinde farklı değişiklikler ve yenilikler sağlamakla birlikte, genel olarak operasyonel maliyetleri ve işletme maliyetlerini düşürmekte ve hizmet performansını artırmaktadır. Endüstri 4.0 sadece teknolojik uygulamalar ile betimlenmez. Kendisine has hedefleri ve özellikleri vardır (Keskinkılıç, Yıldız, & Tüzemen, 2018). Genel olarak yenilikçi iş süreçleri ile akıllı ağ oluşturma, operasyonların esnekliği ve mobilitesi, müşteriler ve tedarikçiler arasındaki uyum, akıllı fabrika olarak adlandırılan dijital üretim, Endüstri 4.0'ın esas amacıdır (Aylak vd., 2020). Yeni süreçlere adaptasyon ve katma değer yaratacak faaliyetlere odaklanma da diğer esasları arasında yer almaktadır.

Lojistik 4.0

Bilgi ve iletişim teknolojisindeki son gelişmeler, üretimde dijitalleşme ve otomasyon baskısının artmasıyla birleştiğinde, lojistik faaliyetlerin ve tedarik zincirlerinin de iyileştirilmesi için çeşitli fırsatların yolunu açmıştır (Strandhagen vd., 2017). Tüm sistemler, dünyada gerçekleşen teknolojik gelişmelerden, sanayi devrimlerinden, değişen konseptlerden etkilenmektedir (Galindo, 2016). Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0'ın benzerlikleri; dijitalleşme, otomasyon, ağ ve

mobilizasyondur (Pfohl, Yahsi, & Kurnaz, 2015). Bu bağlamda, Endüstri 4.0'ın hızlı gelişimi Lojistik 4.0'ın da doğmasını sağlamıştır. Şekil 3, Lojistik 4.0'ın evrimleşme sürecini göstermektedir.

Şekil 3. Lojistik 4.0'ın Evrimleşme Süreci



Kaynak: Galindo (2016: 25)'den uyarlanmıştır

Lojistikte üç dönem yaşanmıştır. İlk yenilik Lojistik 1.0 olarak adlandırdığımız, 18. Yüzyılın sonlarından itibaren su ve buhar gücünden faydalanan sistemlerin mekanikleşmesidir. Kırsal yaşamın sona erip, sanayileşmeye atılan ilk adımdır. Buhar makinesinin icadından sonra buharlı gemiler ve demir yolunun gelişmesi ile taşıma kapasiteleri artmış ve "taşımacılıkta makineleşme" gelişmiştir. Bu dönemde hayvan gücü ile yapılan taşımacılıktan, makinelerle taşımaya geçilmiş, yoğun olarak kullanılan karayolu yerini demiryolu ve denizyoluna bırakmış, bitmiş ürünler ve hammaddeler için depolar basit odalar şeklinde kullanılmaya başlanmış, depoya giren ve çıkan ürünlerde elleçleme manuel olarak yapılmıştır (Seyhan, 2019). 1960'lardan sonra elektrikli ve yanmalı motorlarla gerçekleşen seri üretim ile ikinci lojistik devrimi başlamıştır. Taşımacılıkta konteyner gemileri kullanılmaya başlanmış, elektriğin kullanımı ile birlikte depolardaki manuel ekipmanların yerini elektrik ile çalışanlar almış ve bu sayede ürünler raflara otomatik bir biçimde yerleştirilip çıkarılabilir hale gelmiştir. Bu durum otomatik depoya atılan ilk adımdır (Görçün, 2018). Lojistikte üçüncü inovasyon, bilgisayarların ve bilgi teknolojisinin icadı ile 1980'lerden itibaren başlar. Bu dönemde teknoloji temelli lojistik yönetim sistemleri kavramı gelişmeye başlamıştır. Depo Yönetim Sistemi ve Taşımacılık Yönetim Sistemi gibi önemli yazılımlar yaygınlaşmıştır. Tedarik zinciri bu dönemde küresel bir olgu haline almıştır. Üretim lojistiği sürecinde, ürünlerin taşınmasında konveyör bant sistemleri; bazı işletmelerde ise rotaları programlanmış son teknoloji robotlar kullanılmaya başlanmıştır (Galindo, 2016). İnternet kullanımının yaygınlaşması, nesneler arası internet ve mobil işletim sistemlerindeki gelişmeler, RFID Sistemleri, Siber Fiziksel Sistemler vb. gibi teknolojik uygulamaların artması ve dijitalleşmenin ortaya çıkışı ile Lojistik 4.0 dönemine giriş yapılmıştır.

Literatürde Lojistik 4.0, "akıllı lojistik" olarak da tanımlanmaktadır. Timm & Lorig (2015) Lojistik 4.0 kavramını, donanım odaklı lojistikten yazılım odaklı lojistiğe dönüşüm olarak tanımlamıştır. Winkelhaus & Grosse (2020) müşteri taleplerini sürdürülebilir şekilde karşılanmasını dijital teknolojiler ile sağlayan lojistik sistem olarak ifade etmiştir. Bazı kaynaklara göre Lojistik 4.0 yeni bir yöntem, yeni bir araç seti, yeni bir paradigma olarak adlandırılmaktadır (Szymańska, Adamczak, & Cyplik, 2017). Bu yeni paradigma, makineler ve insanlar arasındaki iletişimi gerçek zamanlı olarak sağlayan, internet kullanımının artması ile gelişmiş dijitalleşmenin bir sonucudur (Barreto vd., 2017). Lojistik 4.0'daki esas amaç, mekanizasyon ve otomasyon arasındaki uyumu sağlayabilmektir (Galindo, 2016). Wang (2016), Lojistik 4.0'ın amacının iş gücü tasarrufunu ve standardizasyonu sağlamak olduğunu ifade etmiştir. Kapasite kullanımını artırmak ve lojistik tesislerde yüksek düzeyde mobilitayı, modülerliği, uyumluluğu, iletişimi ve bilgiyi otonom süreçler ile birlikte kullanmak da Lojistik 4.0'ın hedeflerinden sayılmaktadır (Schlott, 2017). Teknoloji kullanımının artışı, toplumda heyecan verici olduğu kadar aynı zamanda bazı sektörlerde tedirginlik de yaratabilmektedir. Fakat, Lojistik 4.0, insanların işlerini ellerinden almaktan ziyade hataları minimize eden ve iş süreçlerinde bilginin gerçek zamanlı olarak paylaşıldığı dönüşüm sürecidir. Süreçlerin kontrol edilmesinde ve sistem hatalarına müdahale edilmesi gereken kısımlarda işgücüne her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (Barreto vd. 2017).

Lojistik 4.0'ın teknolojik çözümleri, dronelar, otonom araçlar, sensörler, büyük veri, GPS, RFID, nesnelerin interneti kullanımına dayanmaktadır. Bunun yanında sanal gerçeklik gözlükleri, akıllı taşıyıcılar, kapılar, forkliftler ve otomatik araçlar da modern işletmeler tarafından kullanılmaktadır (DHL, 2015). Depolama, elleçleme, nakliye, dağıtım ve bilgi hizmetleri dâhil olmak üzere lojistiğin bazı temel unsurları, verimliliği artırmak için teknolojik gelişmelerle değişmeye zorlanmıştır (Horenberg, 2017). Lojistik alanındaki bu değişimler Scharma (2018)'ya göre 5 şekilde olacaktır;

1. Dijitalleşme :Pazarda 4PL hizmet sağlayıcıları artacak;
2. Şeffaflık :Özellikle tedarik zincirlerinde karar alma süreçleri iş birliğine dayalı ve daha verimli olacak;
3. Otonom :Karar verme ve öğrenme insan yapımı algoritmalara dayanacak ve daha az insan-makine etkileşimi sağlanacak;
4. Modülerleştirme :Süreçlerde esneklik sağlanacak;
5. Sevkiyat ve Dağıtım :Sevkiyat ve dağıtımda yeni teknolojik uygulamalar kullanılacak.

Lojistikte süreç verimliliği oldukça önemli bir göstergedir. Bu nedenle tüm Lojistik 4.0 uygulamalarının esas amacı verimliliği artırmaya yöneliktir (Horenberg, 2017). Tang & Veelenturf (2019) ve Szymańska vd., (2017) Lojistik 4.0'ın getireceği avantajları şu şekilde ifade etmiştir;

- **Hız** : Dronelar ve robotlar ile yüksek hızda teslimat sağlanacak.
- **Güvenirlilik** : Depolamada kullanılan robotlar ile depo süreçlerinde yüksek güvenilirlik sağlanacak.
- **İşletme Maliyetleri** : Akıllı sensörlerin ve otonom cihazların kullanımı ile stokların izlenebilirliğinin ile işletme maliyetleri düşürülecek.
- **Verimlilik** : Blockchain teknolojisi ile konteyner yüklemelerinde verimlilik artışı sağlanacak.

- **Standardizasyon** : Teknolojinin kullanımı ile lojistik süreçleri standart hale getirilecek.
- **İşgücü** : İşlerin makineler tarafından yapılması işgücü tasarrufunu sağlayacak.
- **Yenilik ve Değişiklik**: Yeni teknolojilerin ortaya çıkması farklı değişiklikleri de beraberinde getirecek.

Lojistik 4.0 ile tüm lojistik süreçlerini ve hatta tedarik zincirlerini değişime uğramaktadır. Lojistik 4.0'ın avantajlı olduğu birçok alan olmasına rağmen, yüksek yatırım ve bilgi teknolojileri maliyetleri dezavantajı olarak sayılabilir (Szymańska vd., 2017).

LOJİSTİK 4.0 - LİTERATÜR TARAMASI

Lojistik 4.0 ile ilgili çalışmalar son 5 yılda mevcuttur. Timm & Lorig (2015) lojistik süreçleri simüle etmek için Lojistik 4.0 kapsamında iki entegre yaklaşımı tartışmıştır. G. Wang, Gunasekaran, Ngai, & Papadopoulos (2016) büyük verinin önemine değinmiş olup, tedarik zinciri içerisindeki kullanım stratejilerini incelemiştir. Galindo (2016) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında Lojistik 4.0 kavramı detaylı bir şekilde ele alınmış, kullanılan teknolojilerden örnekler verilmiş ve RFID teknolojisine yönelik uygulamalı bir çalışma yer almıştır. Schlüter & Hettterscheid (2017) tedarik zinciri süreçlerinde dijitalleşirmeyi hızlandırabilecek uygulamalara yönelik teknolojik bir çerçeve sunmuştur. Barreto vd. (2017) Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0'ın benzer prensiplere sahip olduğunu ve bu yeni teknolojilerin işletmeler için büyük avantajlar yaratacağını konu almaktadırlar. Horenberg (2017) 3PL firmalarının katma değerli hizmetlerini iyileştirebilmek adına Lojistik 4.0 uygulamalarına yönelik olarak araştırma yapmıştır. Çalışmanın sonucunda 3PL firmalarının kullanmış olduğu dört teknoloji ile karşılaşılmıştır; blokzincir, otonom araçlar, elektronik pazar platformları ve 3D yazıcılar. Önden (2018) lojistik sektöründeki gelişmelere ve gelecekte insansız lojistik sisteminin çalışabilirliğine yönelik araştırmalarda bulunmuştur. Sonuç olarak yakın gelecekte lojistik sistemlerinde insansız araçların kullanılacağı öngörülmüştür. Klumpp & Ruiner (2018) lojistik ve tedarik zincirindeki robotik ve yapay zeka uygulamalarına yönelik düzenlemeleri ve gelecekteki sorunları ele almaktadır. Krajcovic, Grznar, Fusko, & Skokan (2018) akıllı lojistik uygulamalarının üretim sistemlerine entegrasyonunu konu almıştır. Akıllı üretim ve lojistik sistemleri için dijital ikiz kavramını incelemiştir. Şekkeli & Bakan (2018) Lojistik 4.0'ın temel özelliklerini ve potansiyel etkilerini tartışmaktadırlar. Skapinyecz, Illés, & Bányai (2018) yapmış oldukları çalışmalarında, dördüncü sanayi devriminin sunduğu fırsatlardan yararlanarak, lojistik süreçlerin verimliliğinin nasıl artırılacağını araştırmışlardır. Makale, Endüstri 4.0'ın teknolojik koşullarını, fırsatlarını ve zorluklarını sunmakta olup kurum içi ve kurumlar arası lojistik süreçler üzerindeki etkisini incelemektedir. Saatçioğlu, Kök, & Özispa (2018) Endüstri 4.0 kapsamında bir lojistik firması ile vaka analizi yapmıştır. Nesnelerin interneti, büyük veri, sensör/görüntü işleme ve otomasyon ağırlıklı olarak kullanılan teknolojiler arasında olduğu sonuçlarından biridir. Glistau & Machado (2018) üretimde ve lojistik alanındaki en önemli trend olan Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 kavramlarını açıklamıştır. Özdemir & Özgüner (2018) Endüstri 4.0'ı detaylı bir şekilde incelemiş ve lojistik alanına etkilerini konu almıştır. Schmidtke, Behrendt, Thater, & Meixner (2018) dijitalleşirme ile endüstrinin en son dönüşümünü ele almakta ve gelecekteki "akıllı çözümler" üzerinde durmaktadır. Yılmaz & Duman (2019) Lojistik 4.0'ın gelişime açık alanlarını mercek altına almaktadır. Amr, Ezzat, & Kassem, (2019) önceki endüstriyel devrimler ve bunlarla ilişkili olarak lojistik alanındaki

değişiklikleri tarihsel bir arka plan aracılığıyla tanımlamaktadır. Edirisuriya, Weerabahu, & Wickramarachchi (2019) Lojistik 4.0 uygulamalarını yalın ve yeşil lojistik bakış açısı ile incelemiş, uygulanan lojistik faaliyetlerin Lojistik 4.0 dönüşümündeki zorluklarına değinmiştir. Büyüközkan & Güler (2019) çalışmalarında Lojistik 4.0 kapsamında var olan teknolojiler hakkında bilgi vermekte ve firmaların bu teknolojilerden beklentilerini sıralamaktadır. Çalışmanın sonucunda nesnelerin interneti ve büyük veri teknolojilerinin firmalara büyük etkisi olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Winkelhaus & Grosse (2020) Lojistik 4.0 ile ilgili literatür taramasını yapmıştır. 114 makalenin incelenmesinin ardından Lojistik 4.0'ı destekleyen çözümlerin; nesnelerin interneti, siber- fiziksel sistemler, büyük veri, bulut bilişim, mobil tabanlı sistemler, sosyal- medya oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Aylak vd., (2020) Endüstri 4.0 ile birlikte gelen değişimlerin lojistik alanındaki etkisini ölçmeye yönelik olarak farklı sektörlerden oluşan 65 işletmeye anket düzenlemiştir. Anket sonuçlarına göre, 2017 yılından sonra lojistik sektöründeki trendlerin; otonom lojistik, robotik ve otomasyon, nesnelerin interneti, bulut lojistik, büyük veri ve e-ticaret olacağı sonuçlarına ulaşmıştır. Karagöz (2020) lojistik hizmeti veren işletmelerin Lojistik 4.0'a bakış açılarını ve uygulamalarını incelemek üzere mülakat yöntemi kullanmış olup, araştırmanın sonucunda Lojistik 4.0 uygulamalarının giderek önemli hale geleceğini ortaya koymuştur. Alkış, Piritini, & Ertemel (2020) Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistikteki operasyonel verimliliğe olan etkilerini incelemiş olup, sonucunda işletmelerin özellikle taşıma yönetiminde operasyonel verimlilik artışı sağladığını ortaya koymuştur. Çelik (2020) Endüstri 4.0 ile lojistik alanında yaşanan gelişmeleri ele almaktadır.

LOJİSTİĞİN GELİŞİMİNİ ETKİLEYEN TEKNOLOJİLER

Lojistik sektörü oldukça hızlı ve benzeri görülmemiş bir dönüşüm içerisindedir. Lojistiğin geleceği inovasyon ve teknoloji ile döşenmiştir. Yapay zeka, nesnelerin interneti, 3D yazıcılar, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, blockzincir, RFID, drone vb. teknolojilerin bir kısmı lojistik alanında halihazırda uygulanırken, daha hızlı, daha ucuz, daha güvenilir, izlenebilir ve sürdürülebilir hizmetler sağlayabilmek adına yakın zamanda birçoğundan faydalanılacaktır. MHI (2015) tarafından, lojistik sektörünü etkileyen teknolojik uygulamalar olgunlaşmış, büyüyen, gelişen ve üstel teknolojiler olarak dört şekilde kategorize edilmiştir.

Olgunlaşmış Teknolojiler:

Hizmeti ve verimliliği iyileştirmeyi amaçlayan optimizasyon yazılımları, sensörler ve telematikler, bulut bilişim, büyük veri ve otomatik depolama olgunlaşmış teknolojiler olarak adlandırılmaktadır.

Optimizasyon Yazılımları: Günümüzde tedarik zinciri ve lojistik operasyonlarında optimizasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bunun yanında daha standart hale getirilmiş hazır paketler de işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), EDI (Electronic Data Interchange), Depo Yönetim Sistemleri (WMS), Taşıma Yönetim Sistemleri (TMS), rota ve yük optimizasyon yazılımları gibi yazılım paketleri de diğer programlar ile entegre edilebilmektedir. Bu yazılımların kullanımı lojistik süreçlerde üretkenliği, esnekliği, çevikliği artırmakla birlikte operasyonlarda daha fazla izlenebilirlik, kontrol ve verimlilik sağlar. Tedarik zincirindeki aktörler arasındaki bilgi sistemi entegrasyonu ile şeffaflık ve görünürlüğün artması sağlanırken, kaynakların (işgücü, ekipman, materyal) yeterli düzeyde tahmini de bu yazılımlar sayesinde sağlanmaktadır (Barreto vd., 2017). UPS'in 2001 yılından bu yana kullanmış olduğu rotalama optimizasyon

yazılımı ile, 39 milyon galon yakıt tasarrufu sağlanmış, 364 milyon mil daha az mesafe yapılmıştır (“Lojistik Sektörü Büyük Veriden Nasıl Yararlanıyor?”, 2020).

Sensörler ve Telematikler: Telematik, gerçek zamanlı veri aktarımı sağlayan bir sürüş izleme teknolojisidir. Bu teknoloji, yazılımın ve kablosuz araçların bir araya gelmesi ile çalışmaktadır. Araçlara yerleştirilen telematikler aracın konum bilgisini, sürücünün sürüş biçimini ve kurallara uyup uymadığını GPS yolu ile karşı sunucudaki bilgisayara göndermekte ve kayıt altına almaktadır. Telematikler sayesinde taşımacılıkta sürüş performansları takip edilerek yakıt tasarrufu sağlanır, bakım maliyetleri düşer, maliyetlerde izlenebilirlik ve kontrol elde edilir. Teslimatların izlenmesi ve kontrol edilmesini sağladığı gibi aynı zamanda tedarik zincirleri içerisindeki kamçı etkisinin de önüne geçmektedir. (Pagano & Liotine, 2020).

Bulut Bilişim: Bulut bilişim, internet üzerinden, erişimde bulunulan yazılım uygulamaları, veri depolama hizmeti ve işlem kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (“Bulut Bilişim Nedir?”, 2020). Verilere ve hizmetlere her an her yerden erişebilmek bulut bilişim sistemi ile gerçekleşmektedir (Yılmaz & Duman, 2019). Bulut bilişimin avantajları daha düşük uygulama maliyetleri, daha düşük risk düzeyi ve müşteri ihtiyaçlarına yönelik esnekliğin, çevikliğin sağlamasıdır (Nowicka, 2014). Lojistik sektörü, tedarik zinciri boyunca bütünleştirilmesi gereken birçok aktörden oluşmaktadır. Bulut bilişim ile her şey otonom olabilir ve yöneticiler verileri kullanarak tedarik zinciri süreçlerindeki tüm aktörleri kontrol edip ve birbirine bağlayabilir (Hülsmann, 2015). Bulut bilişim, bilgi teknolojileri kaynaklarıyla (donanım, yazılım ve veri havuzları) tedarik zinciri içerisindeki aktörlerin işbirliğini sağlar ve güçlendirir. GT Nexus firması, tedarik zincirindeki şirketlerin lojistik verilerini gerçek zamanlı olarak paylaşmaları için bulut tabanlı bir platform sunmaktadır. Böylece, tedarik zinciri boyunca gerçek verilerin görünümü sağlanarak, aksaklıkların önüne geçilmiş olunur (Pagano & Liotine, 2020). Bulut tabanlı işbirliğine dayalı kaynak kullanımı, kuruluşlara ortalama %20,7 oranında tasarruf sağlayabilmektedir (McKeefry, 2014).

Büyük Veri: Büyük Veri, büyüyen veritabanları ve araçlarla yönetilmesi zorlaşan veri kümeleri için kullanılan terimdir. Zorluk, verilerin hacminin, hızının ve çeşitliliğinin değişmesinden kaynaklanmaktadır (Galindo, 2016). Günlük olarak üretilen veri miktarı oldukça fazla olup, anlamlı bilgiler çıkartabilmek için çeşitli uygulamalar kullanılmaktadır. Büyük veri, pek çok farklı veriyi bir arada kullanarak karar vermeyi mümkün kılan bir uygulama (Özsoylu, 2017) olmasının yanında maliyetleri düşürmede, ürün ve hizmet akışlarının iyileştirilmesinde oldukça avantajlıdır (Davenport, 2014). Lojistik sektöründe Büyük Veri'den yararlanmanın önemi son yıllarda gittikçe artmıştır. Kullanılan birçok teknoloji; RFID okuyucular, sensörler ve telematikler, GPS, ERP, VMS, taşıma yönetim sistemler vb. büyük miktarda veri üretmektedir. Tüm bunların yanında son yıllarda özellikle kullanımı ve önemi artan sosyal medya verileri de lojistik sektörünü şekillendirmektedir. Güzergah ve süreç optimizasyonunda, adres doğrulamada, vardiya planlanmasında, risk planlanmasında, müşteri deneyimi ile ilgili uygulamalarda büyük veriden faydalanılmaktadır. Büyük veri teknolojisinin müşteri alışkanlıklarını analiz etmede ve kişiye özel fırsatlar yaratarak müşteriyi kazanmada önemli rol oynadığı da bilinmektedir (Büyüközkan & Güler, 2019). UPS firması büyük veri sayesinde rota optimizasyonu ile 10 milyon galon yakıt tasarrufu sağladığı gibi teslimat sırasında oluşabilecek olan sorunları da minimize etmektedir. Dağıtım esnasında park etme gibi problemler de ölçümlenerek

teslimat stratejileri oluşturulmaktadır (“Lojistiğin Kaderini Değiştiren Teknoloji: Yapay Zeka”, 2020) . DHL firması da büyük veri kullanımı ile depodaki faaliyetleri anlık olarak ısı haritalarına dönüştürerek izleyebilmektedir (Önden, 2018).

Otomatik Depolama: ASRS (Automated Storage and Retrieval Systems) otomatik depolama ve boşaltma sistemleri, ürünün depodaki yerine yerleştirilmesi ile depolandığı yerden alınarak sevk edilmesini sağlayan bilgisayar kontrollü depolama sistemidir (“Otomatik Depolama Sistemi (AS/RS) Nedir?”, 2020). Depolama ve boşaltma işlemlerini insan gücüne dayalı forkliftler ile yapan firmaların operasyonel işlemlerdeki hızları yavaş olmakta ve bu işlemlerin kontrolü de otomatik sistemlere göre daha zor yapılmaktadır (Soyaslan, 2012). Otomatik depolama sistemleri, sevkiyat, ürün yükleme ve indirme gibi operasyonlarda verimlilik sağlamak isteyen işletmeler tarafından tercih edilmektedir. AS/RS bilgisayar kontrolünde çalışan sistemler olduğu için, fire miktarı azdır, sevkiyatların doğruluğu yüksektir, depo alanının maksimum kullanımını sağlar, stokların gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanımaktadır. AS/RS’ler, ürün sayısının ve çeşitliliğinin hızla arttığı günümüz ortamında depo operasyonlarında oldukça fazla verimlilik sağlamaktadır (Pagano & Liotine, 2020).

Büyüyen Teknolojiler:

Bu teknolojilerin firmalar tarafından benimsenme oranı %20 olup, 3-5 yıl içerisinde istikrarlı bir şekilde artışa geçmesi beklenmektedir (MHI, 2015). Mobilite, Giyilebilir Teknolojiler, Veri Analizi ve Sosyal Medya büyüyen teknolojiler olarak adlandırılır.

Giyilebilir Teknolojiler: Lojistikte özellikle toplama, paketlenme, sevkiyat faaliyetlerinde kullanılmaya başlanan giyilebilir teknolojiler, iş süreçleri ile entegre edilerek hem verimlilik artışı sağlar hem de zamandan tasarruf elde edilmektedir. Giyilebilir teknoloji (bileklik, saat, gözlük vb.) çalışanların hareket kabiliyetini artırırken, mevcut olan kaynakların kullanımını da maksimuma çıkarmaktadır. Örneğin, depo personeli takmış olduğu gözlük ile ürün, palet, ekipman üzerindeki barkoddan tüm bilgilere ulaşabilir veya araç yüklemesi yaparken, yükün yeri giyilebilir teknolojilerden biri ile tespit edilir, stoka işlenir. Personelin iki elinin kullanımını da sağladığı için hareket kabiliyetini yükselten bir uygulamadır (“Giyilebilir Teknolojiler Lojistik Sektöründe Kolaylık Sağlıyor”, 2020). Giyilebilir teknolojiler, hareket halindeki personelin daha az zamanda, daha verimli iş yapmasına katkı sağlamaktadır.

Veri Analizi: Veri analizi, çok farklı kaynaklardan gelen büyük hacimli verilerin işlenmesini ve hesaplanmasını içermektedir. Günümüzde işletmelerin en değerli varlıkları verileridir. İşletmeler verilerin analizi ile iş süreçlerini geliştirebilecek bilgiler elde ederler ve böylece rekabet avantajı sağlamaktadır. Bilginin elde edilmesi ile beraber lojistik iş akışlarında ve tedarik zincirlerinin her düzeyinde karar vermeye yardımcı yeni modeller ortaya çıkarılabilir. Veri Madenciliği teknikleri ve “Predictive Analytics” (kestirimsel çözümleme) ile simülasyonlar kullanılarak, lojistik hizmetlerin daha uygun maliyetli ve hızlı yapılmasını amaçlayan çalışmalara “Anticipatory (öngörmeli) Logistics” adı verilmektedir. Bu teknikte belirli bir bölgedeki müşteri talepleri tahmin edilir ve envanterler bu tahminlere göre ayarlanır. Müşterilerin önceki satın almaları, önceki aramaları ve belirli kalemlere bakmak için harcadıkları zaman uygulamanın temelidir. Şu anda büyük perakende firmaları tarafından bu uygulama kullanılmaktadır. Satın alınabilecek ürünler hakkında önceden bilgi sahibi olunabildiği için, satın alma, stok yönetimi, pazarlama, depolama vb. gibi birçok faaliyette verimlilik sağlamaktadır. Kestirimsel çözümleme ile yaşanabilecek gecikmeler de

öngörülmektedir. DHL firmasının hava taşımacılığındaki gecikmeleri engellemek için geliştirdiği makine öğrenmesi bu uygulamaya örnektir. Makine öğrenmesine dayalı algoritma ile geçmişteki verilere dayanarak uçakların en kısa sürede gidilebileceği hava güzergahını tahmin eder. 58 farklı kriter ile belirlenen tahmini ulaşma süresini ve tahmini gecikme süresini hesaplar. Böylece iş süreçlerinin daha önceden planlanması sağlanır, operasyonlar daha verimli ve hızlı olur ("Lojistik Yönetiminde Yapay Zekânın Rolü", 2020). Amerika'da demiryolu taşımacılığında faaliyet gösteren Union Pacific firması yerleştirdiği görüntü ve ses sensörleri ile sürekli olarak trenleri izlemektedir. Oluşan verileri yorumlayıp, kullanılan ekipmanlar ile ilgili hasarlanma ve ömür analizlerinde bulunmaktadır. Hasar türünü %90 doğruluk payı ile analiz edebilmektedir. Böylece beklenmedik problemler minimize edilmiş olmaktadır ("Tedarik Zincirinde IoT Uygulamaları", 2020).

Mobilite: Mobil teknoloji, geleneksel teknolojilerden çok daha düşük bir maliyetle tedarik zinciri ve lojistik için bir dizi yeteneğe sahiptir. Bunlar, barkod tarama, belge yönetimi, GPS izleme, gerçek zamanlı saha iş gücü yönetimi, gönderi takibi ve gerçek zamanlı teslimat kanıtı gibi özellikleri içerir. Bu teknolojilerin çoğu artık yaygın olarak bulunabilen akıllı telefonlar ve tabletlerle kullanılmaktadır (Pagano & Liotine, 2020). Hem mobil hem de giyilebilir teknoloji için firmalar tarafından benimseme seviyeleri % 23'tedir ve önümüzdeki 3-5 yıl içinde % 64'e ulaşması beklenmektedir (MHI, 2015).

Sosyal Medya: Sosyal medyanın kullanımı gün geçtikçe artmakta olup, en etkin haberleşme yollarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. İşletmeler için müşteriler ile etkileşimi artırmada önemli bir rol üstlenmektedir. Şirketler müşterilerle iletişimi geliştirebilir, işletme maliyetlerini ve riski azaltabilir, pazarlama ve üretkenliği artırabilir (Pagano & Liotine, 2020). Dünya devi olan Maersk firması, 2011 yılında belirlemiş olduğu sosyal medya stratejisi ile çok geniş bir ağ ile iletişime geçme fırsatını yakalamış olup, büyük başarı göstererek rakiplerinden bu anlamda farklılaşmaktadır.

Gelişen Teknolojiler:

Bu teknolojiler günümüzdeki rekabet ortamında yıkıcı yenilikler olarak görülmektedir. Bu bağlamda tedarik zincirini ve lojistik operasyonlarını öngörülemeyen şekillerde önemli ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptirler. 3D yazıcılar, dronelar, otonom araçlar gelişen teknolojiler kategorisinde yer almaktadır.

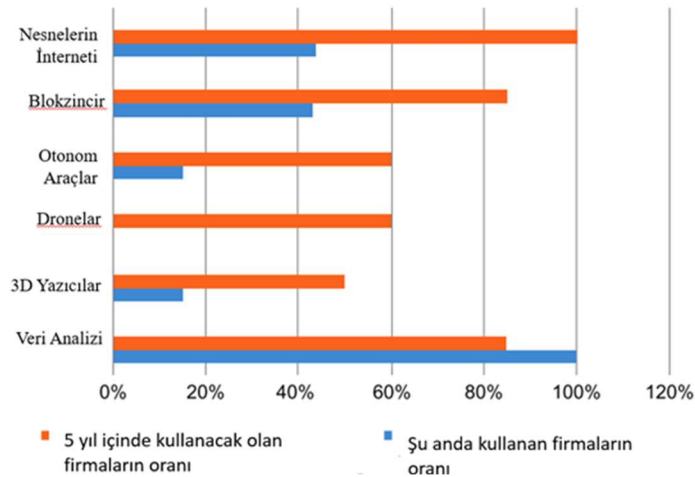
3D Yazıcılar: 3D yazıcılar tedarik zincirlerini ve küresel lojistik endüstrisini etkileyen en yıkıcı olaylardan biridir. Üç boyutlu yazıcıların lojistik ve tedarik süreçleri üzerinde doğrudan etkisi vardır (Mohr & Khan, 2015). Bazı lokasyonlarda üretim düşük maliyetli olabilse de, nakliye ve diğer dağıtım masrafları dâhil olmak üzere küresel bir lojistik ağını işletmek, büyük genel masraflar anlamına gelmektedir. 3D yazıcılar, işletmelerin yerel üretim merkezlerini stratejik pazarlara daha yakın konumlandırmalarını sağlayarak, bu genel maliyetleri düşürür. Böylece bir tedarik zincirinin uzunluğunu ve karmaşıklığını azaltırken aynı zamanda karbon ayak izini de azaltmaya yardımcı olur (Pagano & Liotine, 2020). 3D yazıcılar ayrıca yedek parça üretimi için de oldukça avantajlıdır. İhtiyaç anında üretileceği için, depolama ve yatırım maliyetlerinden tasarruf elde edilir (Yılmaz & Duman, 2019). Özellikle e-ticaretin artışı ile birlikte birçok firma aynı gün teslimat anlayışının yerini aynı saat teslimat anlayışına bırakmaktadır. Sipariş ile sevkiyatın arasındaki süre birçok işletmede saniyelere kadar inmektedir. Amazon firması merkezi fabrikalar yerine 3D

yazıcıları kamyonlara yükleyerek, gelen siparişlerin anında üretilerek dronelar ile teslimatının sağlanabileceği yeni bir planlama yapmaktadır.

Dronelar: Drone teknolojisinin depoda ve ürün teslimatlarında kullanımına rastlanılmaktadır. Depoda ürün sayım sonuçlarını, Depo Yönetim Sistemine hızlı ve hatasız şekilde aktararak zaman ve işgücü avantajı sağlar. Drone ile ürün teslimatı ilk olarak Amazon firması tarafından yapılmış olup, teslimat süresini oldukça kısaltmaktadır. Özellikle tüm dünyanın içinde bulunduğu pandemi sürecinde, anlık ihtiyaçlar için drone ile teslimat talebinin yoğunlaşabileceği öngörülebilmektedir. Amazon firması tarafından patenti alınmış, henüz proje aşamasındaki zeplin benzeri hava gemileri veya diğer ismi ile hava depoları kullanılarak ürün dağıtım süresinin kısılması amaçlanmaktadır. Drone teknolojisi ve e-ticaret bir araya gelerek mobil depo görevi gören zeplinler, dağıtımda inovatif bir yaklaşım sergilemektedir. Şekil 4. Tedarik zinciri kullanan firmaların teknoloji kullanım oranlarını göstermektedir. Şekle göre drone kullanımının 5 yıl içerisinde artacağı öngörülmektedir (Pagano & Liotine, 2020).

Otonom Araçlar: Akıllı sensörler, işlemciler, entegre sistemler, veri paylaşımı ve nesnelerin interneti alanındaki ilerlemeler, geleneksel manuel sürüşten, tamamen bilgisayarlar tarafından yönlendirilen otonom araçlara doğru bir yol almaktadır (Anderson vd., 2016). Otonom araçların lojistik alanındaki uygulamaları artmaktadır (Kalkınma Bakanlığı 2018). Bu araçlar, gerekli olan verileri elde etmek için tamamen sensörlerden destek almaktadır (Horenberg, 2017). Çoğu veri, aracın çevresini algılayan ve bir harita oluşturmasını sağlayan görüntü kameraları, radarlar ve ultrasonikler vasıtası ile alınır. Bu haritaya dayanarak, hareket planlama algoritmaları aracın hangi hareketleri yapması gerektiğine karar verir (Katrakazas, Quddus, Chen, & Deka, 2015). Dünyanın en büyük uluslararası lastik ve orijinal ekipman tedarikçilerinden olan Continental firması tarafından sürücüsüz araçlarla entegre olan kurye robotlar sayesinde ürün dağıtımını daha hızlı ve verimli olmaktadır. Otonom araçlarla yapılan bu teslimatlar için taşıma kapasitesinin daha fazla artacağı ve zaman kayıplarının azalacağı öngörülmektedir.

Şekil 4. Tedarik zinciri teknolojilerini kullanan ve önümüzdeki 5 yıl içinde kullanacak şirketlerin yüzdesi



Kaynak: (Pagano & Liotine, 2020)

Üstel Teknolojiler:

Tedarik zinciri yönetiminde ve lojistikte genel kullanıma girmeye yeni başlayan blokzincir, nesnelerin interneti, sanal gerçeklik, makine öğrenimi teknolojileri üstel teknolojiler olarak isimlendirilmektedir.

Blokzincir: Blokzincir; karşılıklı tarafların belirli kurallara göre antlaşmaları sonucunda, sanal varlıkların (öğelerin) dijital ortamda transfer olmasını sağlayan teknolojidir (Tekin, Öztürk, & Bahadır, 2020). Blokzincir, kıymetli evrak yönetim sistemine, çoklu onay mekanizmalarına dayalı olarak taraflara şeffaflık ve güven ortamı yaratmaktadır. Kayıtlara girmiş evraklar üzerinde değişiklik yapılamaması ve girilen verinin değiştirilememesi gibi özellikleriyle gümrük ve dış ticaret işlemlerine önemli katkılar sağlayabilmektedir. Hile, yetkisiz işlem, suistimal ile hataların giderilebilmesi blockchain ile daha kolay olduğu için lojistik sektörüne olumlu etkileri olmaktadır (Çelik, 2020).

Nesnelerin İnterneti: Nesnelerin interneti geleceği en parlak gözüken ve birçok alanda kullanımı olan teknolojilerden biridir. Her şeyin interneti olarak da adlandırılan bu teknoloji, sadece nesnelere değil, insanların, süreçlerin, verilerin, eş zamanlı ve kesintisiz olarak iletişim içerisinde olmasını sağlar (Witkowski, 2017). Fiziksel nesnelere barkodlama, RFID etiketleri veya sensörler ile donatıldıkça, ürünlerin, araçların veya diğer nesnelerin başlangıç noktasından varış noktasına kadar olan tüm nakliye ve dağıtım hareketleri izlenebilmektedir. Nesnelerin interneti teknolojisi ile etkileşime giren iyi tanımlanmış ve yapılandırılmış taşıma sistemleri yönetimi, yönetimin karar vermesinde kilit role sahip olup, tedarik zincirlerini de daha esnek ve verimli hale getirmektedir (Barreto vd., 2017). Taşımacılık alanında, bir ürünün tedarik zinciri boyunca takibi ve kontrolü; depolama alanında bir ürünün raf sisteminden sevkiyat alanına kadar takip edilmesi; depo içinde kullanılan araçlara rotalama yapılması gibi uygulamaları mevcuttur. Akıllı konteynerlerde RFID, GPS, wireless ve sensörlerin entegrasyonu sağlanarak, konteyner içindeki sıcaklık, ısı, nem, malzeme bilgisi, aracın nerede olduğu ile ilgili olarak kullanıcılara eş zamanlı bilgi verebilmektedir. Depo içerisindeki tüm kontrollerin sensörler tarafından yapıldığı, ürünlerin robotlar tarafından taşındığı, rafların ve taşıyıcıların nesnelerin interneti teknolojisi ile iletişim kurduğu, sevk edilecek olan ürün miktarının yapay zeka ile tahmin edildiği "akıllı depo" uygulamaları kullanımı artmaktadır. Akıllı depo teknolojileri ile işletmeler büyük yatırım maliyetlerine katlanarak operasyonlarında hız, zaman ve esneklik elde etmiş olmaktadır.

Sanal ve Artırılmış Gerçeklik: Sanal gerçeklik teknolojisi ile bilgisayarlardaki kamera yardımı sayesinde, bir nesneye bakıldığında daha önce entegre edilmiş olan dijital ya da elektronik içerikler görülebilmektedir. Bu da gerçek hayatta orada mevcut olmayan bir olayın varlığını hissettirmektedir (Çakır, Solak, & Tan, 2015). Lojistik alanında; depo kurulumunda depo içi ekipmanların ve rafların nereye yerleşeceğini, depo içi araç rotalarının belirlenmesini sağlar. Çalışanlara karşılaşılabilecekleri tehlike ve riskler ile ilgili olarak eğitimler verilmesini sağlayan sanal gerçeklik teknolojisi iş kazalarının önüne geçilmesine de imkân tanımaktadır. Lojistik şirketlerinden biri olan Adidas stoklarındaki 4000'den fazla ürünü, mağazalarındaki duvarlara yansıtarak tüketicilere farkındalık yaratmanın yanı sıra, ürünler ile ilgili bilgilere ulaşmalarını ve karşılaştırma yapmalarını da sağlamaktadır (Odabaşı 2017, s.45). Knapp firması, depo operasyonlarında artırılmış gerçeklik teknolojileri kullanarak karmaşıklığın ve insan hatalarının olasılıklarını yaklaşık olarak %40 oranında azaltmıştır (Baur ve Wee 2015).

Makine Öğrenimi: Makine öğrenimi yapay zekâ tekniklerinden biri olarak değerlendirilebilir. Yapay zekâ uygulamaları lojistik alanında hızla gelişim göstermektedir. Görüntü uygulama ve işleme ile ilgili Amazon firmasının “Amazon Go” noktaları tamamen insansız olan mağazaları temsil etmektedir (Kayaalp, 2020). Alışveriş yapacak olan kişinin mağazadan yüz tanıma sistemi ile girmesi, ürünleri mobil aygıttaki uygulama üzerine ekleyip, mağazadan çıkarken de ödemenin otomatik olarak yapılması yapay zekânın kullanımının en etkin örneğidir. Tesla firması sürücüsüz araçlardaki radar sistemlerinin geliştirilmesinde makine öğrenmesinden faydalanmaktadır. Sürücülerin nasıl davrandıkları, belirli GPS lokasyonlarından toplanan araç verileri sayesinde izlenebilmektedir. Makine öğrenmesi yazılımları bu verilerin analizinde kullanılmakta ve sürücülerin nasıl davranacaklarına yönelik öngöründe bulunmaktadır (“Dünyanın En Zeki 13 Yapay Zeka Şirketi”, 2020).

Makinelerden farklı olarak, robotlar aynı anda birden fazla işi, daha hızlı, daha doğru yapabilmektedir. Çevrimiçi satışların hızla büyümesini karşılamak için yüksek düzeyde bir hız ve verimlilik gerektiren durumlarda robotlar tercih edilmektedir. Değişen dünya düzeninde e-ticaretin ve buna bağlı olarak da robotların kullanımı artacaktır. Özellikle depolarda en maliyetli ve zaman alıcı süreç olan sipariş toplamada robotlar tercih edilmektedir. Amazon firması tarafından kullanılan Kiwa robotları insan gücünün yapması gereken birçok işi otonom bir şekilde yapmaktadır.

SONUÇ

Araştırmada, Endüstri 4.0'ın tarihsel gelişimi ve lojistik sektörüne olan etkisi ile olgunlaşan Lojistik 4.0 kavramı ele alınmıştır. Lojistik 4.0 kavramını oluşturan teknolojik gelişimler, sektörel örneklerle zenginleştirilerek ortaya konulmaya çalışılmıştır. Henüz emekleme aşamasındayken Covid-19 pandemisi ile birlikte sıçrayışa geçen Lojistik 4.0'ın önemi bu çalışma ile daha da fazla vurgulanmış olup, sonraki araştırmalar için bilgilendirici nitelik taşımaktadır.

Özellikle içinde bulunduğumuz Covid-19 salgını ile birlikte birçok alanda, dijitalleşme hız kazanmıştır. İçinde bulunduğumuz yoğun rekabet ortamında teknolojiye ve teknoloji ile birlikte gelen değişimlere ve yeniliklere adapte olan firmalar büyük bir avantaj elde edecektir. İşletmelerin ayakta kalabilmeleri için bu yatırımları yapmaya mecbur kalacağı bir döneme giriş yapmaktayız. Bu yatırımlar için işletmelerin sermayeye ve altyapıya ihtiyacı olduğu kadar süreçlere teknolojik bakış açısı ile bakabilecek vizyon sahibi işgücünün varlığı da oldukça önemlidir.

Lojistik sektörü rekabetin yoğun yaşandığı ve değişimlerin sıkça olduğu bir alan olup, teknolojiye ve teknolojinin getireceği yeniliklere ihtiyaç duymaktadır. Otonom araçlar, robotlar, makine öğrenmesi, blokzincir, akıllı fabrikalar ve depolar, sensörler ile tedarik zinciri boyunca takip edilecek araçlar gibi birçok teknolojik uygulamanın kullanım alanları yakın bir gelecekte yaygınlaşarak lojistik sektörüne yön verecektir. Bu durum, lojistik sektöründe insan gücüne dayalı işlerin zamanla yok olmasına sebep olacağı gibi aynı zamanda yeni mesleklerin doğuşuna da imkân tanıyacaktır.

Bosworth & Kabay (2002) ve Goodrich & Tamassia (2014) teknolojik sistemlerin getirmiş olduğu avantajlara rağmen bu sistemlerin güvenlik açıkları da taşıdığını ifade etmektedir. Bu nedenle işletmeler için bilgi güvenliğinin sağlanması da en kritik ve zorlayıcı gereksinimlerinden biridir. İşletmeler yeterli düzeyde bilgi güvenliğini sağlamalı ve iş

sürekliliği için en etkili kontrol setlerini belirlemeli, uygulamalı, izlemeli ve değerlendirmelidir. Bu aşamada Lojistik 4.0 uygulamalarının başarılı olabilmesi ve sürekliliğinin sağlanabilmesi için verilerin güvenliğinin sağlanması ve teknolojik alt yapının da korunması işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır.

Lojistik 4.0 kapsamındaki teknolojiler bu çalışmada teorik olarak sunulmuş olup, belirtilen teknolojilerin sektördeki uygulamalarına yönelik araştırmalar yapılması sonraki çalışmalar için yön gösterici olabilir. Ülke bazında bu teknolojileri kullanan firmalara yönelik anket veya mülakat yöntemleri ile çalışmalar yapıлып, kullanılan teknolojilerin düzeyi ve çeşidi ortaya konulabilir.

KAYNAKÇA

- Akıllı şehirlerin vazgeçilmez sürücüsüz araçlar ve robot kuryeler olacak. 13 Kasım 2020 tarihinde <https://www.lojistikcilerinsesi.biz/2019/02/09/akilli-sehirlerin-vazgecilmezi-surucusuz-araclar-ve-robot-kuryeler-olacak/> adresinden erişildi.
- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(2), 19–30.
- Alkış, G., Piritini, S., & Ertemel, A. V. (2020). The effect of Industry 4.0 applications on operational efficiency in the logistics sector. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 371–395.
- Amr, M., Ezzat, M., & Kassem, S. (2019). Logistics 4.0: Definition and historical background. *NILES 2019 - Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference*, 46–49.
- Anderson, J., Kalra, N., Stanley, K., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. (2016). *Autonomous vehicle technology: a guide for policymakers*. Santa Monica, California: Rand.
- Arslan, Ü. Ç., & Demirağ, Y. H. (2017). *Sanayi devrimi: sonuçları ve uluslararası sisteme yansımaları*. 15 Aralık 2020 tarihinde https://www.academia.edu/35814711/Sanayi_Devrimi_Sonuçları_ve_Uluslararası_Sisteme_Yansımaları adresinden erişildi.
- Aylak, B. L., Kayıkçı, Y., & Taş, M. A. (2020). Türkiye’de lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin dijital trendlerinin incelenmesi. *Journal of Yasar University*, 15(57), 98–116.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252.
- Baur, C., & Wee, D. (2015). *Manufacturing’s next act*. 1 Aralık 2020 tarihinde <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act> adresinden erişildi.
- Bosworth, S., & Kabay, M. E. (2002). *Computer security handbook (fourth edition)*. UK: Wiley Publication.
- Bulut bilişim (cloud computing) nedir? 22 Ekim 2020 tarihinde <https://www.endustri40.com/bulut-bilisim-cloud-computing-nedir/> adresinden erişildi.

- Büyüközkan, G., & Güler, M. (2019). Lojistik 4.0 teknolojilerinin analizi için metodolojik yaklaşım. *Girişimcilik ve İnovasyon Yönetimi Dergisi*, 8(1), 21–47.
- Çakır, R., Solak, E., & Tan, S. S. (2015). Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile İngilizce kelime öğretiminin öğrenci performansına etkisi. *Gazi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 1(1), 45–58.
- Çelik, R. (2020). Lojistik sektöründe kullanılan yeni bilişim sistemleri: lojistik 4.0 örneği. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(4), 85–90.
- Davenport, T. (2014). *Big data*. İstanbul: Türk Hava Yolları Yayınları.
- DHL. (2015). *Internet of things in logistics*. 29 Kasım 2020 tarihinde www.dhl.com/content/dam/Local/Images/g0/New_aboutus/innovation/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf adresinden erişildi.
- Dünyanın en zeki 13 yapay zeka şirketi. 11 Kasım 2020 tarihinde <https://medium.com/t%C3%BCrkiye/d%C3%BCnyan%C4%B1n-en-zeki-13-yapay-zeka-%C5%9Firket-94745821ba35> adresinden erişildi.
- Edirisuriya, A., Weerabahu, S., & Wickramarachchi, R. (2019). Applicability of lean and green concepts in Logistics 4.0: a systematic review of literature. *International Conference on Production and Operations Management Society, POMS 2018*, 1–8.
- Endüstri 4.0 ve sistem entegrasyonları. 1 Kasım 2020 tarihinde https://www.akilfabrika.org/Endustri_4.0_ve_Sistem_Entegrasyonlari,cnt-6 adresinden erişildi.
- Frazzon, E. M., Silva, L. S., & Hurtado, P. A. (2015). Synchronizing and improving supply chains through the application of cyber-physical systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 2059–2064.
- Galindo, L. D. (2016). *The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Norwegian Üniversitesi, Norveç.
- Giyilebilir teknolojiler lojistik sektöründe kolaylık sağlıyor. 15 Ekim 2020 tarihinde <http://www.selectbilisim.com/giyilebilir-teknolojiler-lojistik-sektorunde-kolaylik-sagliyor> adresinden erişildi.
- Glistau, E., & Machado, N. I. C. (2018). Industry 4.0, logistics 4.0 and materials - chances and solutions. *Materials Science Forum*, 919, 307–314.
- Goodrich, M., & Tamassia, R. (2014). *Introduction to computer security (Second Edition)*. Boston: Addison-Wesley Professional.
- Görçün, Ö. F. (2018). Lojistikte teknoloji kullanımı ve robotik sistemler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 351–368.
- Henning, K., Wolfgang, W., & Johannes, H. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0 securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0*. Berlin, Almanya.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences Design*, 3928–3937.

- Horenberg, D. (2017). *Applications within Logistics 4.0: A research conducted on the visions of 3PL service providers*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, University of Twente, Netherlands.
- Hülsmann, T. (2015). Logistics 4.0 and the internet of things. *Workshop Platforms for Connected Factories of the Future*.
- Jahn, C., Kersten, W., & Ringle, C. M. (2018). Logistics 4.0 and sustainable supply chain management: Innovative solutions for logistics and sustainable supply chain management in the context of Industry 4.0. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*.
- Kalkınma Bakanlığı (2018). *Lojistik hizmetlerin geliştirilmesi: özel ihtisas komisyonu raporu*. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.
- Karagöz, B. (2020). Lojistik 4.0 uygulamaları ve lojistik firmalarının bakış açısı. *İnsan & İnsan*, (23), 37–51.
- Katrakazas, C., Quddus, M., Chen, W. H., & Deka, L. (2015). Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 416–442.
- Kayaalp, K. (2020). Tedarik zinciri ve lojistikte yapay zeka gelişimi ve entegrasyon süreci. *Lojistik Dergisi*, (2), 38–42.
- Keskinkılıç, M., Yıldız, İ., & Tüzemen, A. (2018). Lojistik ve kargo kurumlarının Lojistik 4.0 açısından değerlendirilmesi: Erzurum ilinde nitel bir uygulama. *IV. International Caucasus-Central Asia Foreign Trade and Logistics*, 799-805.
- Klumpp, M., & Ruiner, C. (2018). Regulation for artificial intelligence and robotics in transportation, logistics and supply chain management: Background and developments. *Network Industries Quarterly*, 20(2), 3–7.
- Krajcovic, M., Grznar, P., Fusko, M., & Skokan, R. (2018). Intelligent logistics for intelligent production systems. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 20(4), 16–23.
- Lasi, H., Fettke, P., & Kemper, H. (2014). Industry 4.0 business and information. *Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Lojistiğin kaderini değiştiren teknoloji: yapay zeka. 1 Kasım 2020 tarihinde <https://www.globelink-unimar.com/lojistigin-kaderini-degistiren-teknoloji-yapay-zeka> adresinden erişildi.
- Lojistik sektörü büyük veriden nasıl yararlanıyor?. 22 Ekim 2020 tarihinde <https://www.globelink-unimar.com/lojistigin-kaderini-degistiren-teknoloji-yapay-zeka> adresinden erişildi.
- Lojistik yönetiminde yapay zekânın rolü. 1 Aralık 2020 tarihinde <https://www.lojistikcilerinsesi.biz/2020/04/13/lojistik-yonetiminde-yapay-zekanin-rolu-2/> adresinden erişildi.
- McKeffry. (2014). Collaborative sourcing reduces costs & time. 27 Kasım 2020 tarihinde <https://www.ebnonline.com/collaborative-sourcing-reduces-costs-time/> adresinden erişildi.

- MHI. (2015). *Supply chain innovation - making the impossible possible*. MHI Industry Report, April.
- Mohr, S., & Khan, O. (2015). 3D printing and supply chains of the future. *Technology Innovation Management Review*, 5(11), 20.
- Nowicka, K. (2014). Smart city logistics on cloud computing model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 151, 266–281.
- Odabaşı, Y. (2017). *Pazarlama dijital dünyanın neresinde*. İstanbul: Brandmap.
- Otomatik depolama sistemi (as/rs) nedir? 5 Aralık 2020 tarihinde <https://www.biymed.com/forum/isyonetimi/lojistik-ve-tedarik-zinciri-yonetimi/lojistik-terimler-sozlugu/otomatik-depolama-sistemi-as-rs-nedir-otomatik-depolama-sistemi-as-rs-ne-demektir.html> adresinden erişildi.
- Önden, İ. (2018). İnsansız lojistik ağlarının geleceğinin değerlendirilmesi. *Irditech 2018 Uluslararası Ar-ge İnovasyon ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, 343–348.
- Özdemir, A., & Özgüner, M. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne etkileri. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 6(4), 39–47.
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1), 41–64.
- Öztemel, E., & Gürsev, S. (2018). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182.
- Pagano, A. M., & Liotine, M. (2020). *Technology in supply chain management and logistics*. Cambridge MA, United States: Elsevier.
- Pfohl, H.-C., Yahsi, B., & Kurnaz, T. (2015). The impact of Industry 4.0 on the supply chain. *Hamburg International Conference of Innovations ad strategies for logistics and supply chains*, 31–58.
- Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems: the next computing revolution. *Design Automation Conference*, 731–736.
- Saatçioğlu, Ö. Y., Kök, G. T., & Özispa, N. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne yansımalarının örnek olay kapsamında değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(Special Issue), 1675–1696.
- Scharma, J. (2018). Industry 4.0 effects Logistics 4.0. 21 Ekim 2020 tarihinde <https://www.ioscm.com/blog/industry-4-0-effects-logistics-4-0/> adresinden erişildi.
- Schlott, S. (2017). Vehicle systems for logistics 4.0. *ATZ Worldwide*, 119(2), 42–47.
- Schlüter, F., & Hettterscheid, E. (2017). Supply chain process oriented supply chain process oriented. *Hamburg International Conference of Logistics*, 275–299.
- Schmidtke, N., Behrendt, F., Thater, L., & Meixner, S. (2018). Technical potentials and challenges within internal Logistics 4.0. *4th IEEE International Conference on Logistics Operations Management*, 1-10
- Şekkeli, Z. H., & Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0 etkisiyle Lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 5(2), 17–36.

- Seyhan, Ç. (2019). *Lojistik 4.0: Endüstri 4.0'ın lojistik sektörüne uyarlanması üzerine bir araştırma*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Skapinyecz, R., Illés, B., & Bányai. (2018). Logistic aspects of Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 448(1), 0–11.
- Soyaslan, M. (2012). *Sıvı gıda üretim sektörü için robotik tabanlı akıllı depolama sistemlerinin otomasyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Strandhagen, J. O., Vallandingham, L. R., Fragapane, G., Strandhagen, J. W., Stangeland, A. B. H., & Sharma, N. (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 359–369.
- Szymańska, O., Adamczak, M., & Cyplik, P. (2017). Logistics 4.0 - A new paradigm or set of known solutions? *Research in Logistics and Production*, 7(4), 299–310.
- 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.
- Tedarik zincirinde IoT uygulamaları. 28 Kasım 2020 tarihinde <https://corprenuers.org/tedarik-zincirinde-iot-uygulamaları/> adresinden erişildi.
- Tekin, M., Öztürk, D., & Bahadır, İ. (2020). Akıllı lojistik faaliyetlerinde blokzincir teknolojisi. *Journal of Urban Culture and Management*, 13(3), 570–583.
- Timm, I. J., & Lorig, F. (2015). Logistics 4.0- A challenge for simulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(3), 143–158.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182.
- TOBB Rapor. (2018). *Akıllı fabrikalar geliyor*. 28 Kasım 2020 tarihinde <http://haber.tobb.org.tr/ekonomikfo-rum/2016/259/016_027.pdf> adresinden erişildi.
- TÜSİAD. (2016). *Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olarak Sanayi 4.0*, Mart, 2016.
- Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015). Industrie 4.0: Enabling technologies. *International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things*, 135–140.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110.
- Wang, K. (2016). Logistics 4.0 solution-new challenges and opportunities. *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, 68–74.
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18–43.
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, Industry 4.0- innovative solutions in logistics and supply chain management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769.
- Yılmaz, Ü., & Duman, B. (2019). Lojistik 4.0 kavramına genel bir bakış: geçmişten bugüne gelişim ve değişimi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 186–200.