

e-ISSN:2587-2168



Year: 2023

Vol: 9 Issue: 52

pp 1406-1421

Article ID

72695

Arrival

26 September 2023

Published

31 December 2023

DOI NUMBER<http://dx.doi.org/10.29228/ideas.72695>**How to Cite This Article**

Alnıpak, S. (2023).

"Dijitalleşen Lojistik:

Akıllı Lojistik Kavramı ve Teknoloji ile İlişkisi", International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies, (e-ISSN:2587-2168), Vol:9, Issue:52; pp: 1406-1421



International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Dijitalleşen Lojistik: Akıllı Lojistik Kavramı ve Teknoloji ile İlişkisi*

Digitalizing Logistics: The Concept of Smart Logistics and Its Relationship with Technology

Serdar Alnıpak¹ ¹ Doç.Dr. Nişantaşı Üniversitesi, İİSBF, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Blm., Maslak, Sarıyer, İstanbul**ÖZET**

Sipariş işleme, taşımacılık, paketleme, ambalajlama, elleçleme, envanter yönetimi gibi pek çok faaliyeti kapsayan lojistik fonksiyonu gerek ülkeler gerek ise işletmeler açısından ekonomik faaliyetlerin omurgasıdır. Son yıllarda Endüstri 4.0 ile önemi daha da artan dijitalizasyon, otonomi, inovasyon, otomasyon, bilgi ve iletişim teknolojileri lojistik sektörünü de değişime zorlamaktadır. Bilindiği üzere temelde Endüstri 4.0 kendi kendini kontrol edebilen kaynakların akıllı ağlar oluşturmasını ifade etmektedir. Bu konsept ile en üst seviyede etkinlik, esneklik, verimlilik ve entegrasyon amaçlanmaktadır. Bütünleşmiş ve otomatize edilmiş bileşenler ile şirket içi ve dışı tüm taraflar arasında şeffaflık, anlık veri akışı ve optimizasyon sağlanabilmektedir. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın içerdiği teknolojilerin ve yeniliklerin lojistik süreçlere entegrasyonunun olarak tanımlanan 'Akıllı Lojistik' kavramı işletmelerin iş modellerinde kritik değişimlere yol açmaktadır. Bu çalışmada Lojistik 4.0 olarak tanımlanan akıllı lojistik kavramı, ilgili teknolojiler, iş dünyasında yaratacağı potansiyel faydalar ve engeller araştırılmış ve yakın geleceğe yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Lojistik, Endüstri 4.0, Lojistik Yönetimi**ABSTRACT**

The logistics function, which covers many activities such as order processing, transportation, packaging, material handling, inventory management, is the backbone of economic activities for both countries and businesses. Digitalization, autonomy, innovation, automation, information and communication technologies, whose importance has increased with Industry 4.0 in recent years, are also forcing change in the logistics sector. As it is known, Industry 4.0 basically refers to the creation of intelligent networks of self-controlled resources. With this concept, it is aimed to maximize efficiency, flexibility, productivity and integration. Moreover transparency, real time data flow and optimization can be achieved between all internal and external parties through integrated and automated components. In this context, 'Smart Logistics', which is defined as the adopting of the technologies and innovations of Industry 4.0 into logistics processes, causes critical changes in the business models of enterprises. In this study, the concept of smart logistics also defined as Logistics 4.0, its related technologies used, the potential benefits and difficulties to be experienced were investigated and suggestions for the near future were made.

Keywords: Smart Logistics, Industry 4.0, Logistics Management**1. GİRİŞ**

İşletmelerin yüksek seviyedeki lojistik kabiliyetleri yoğun rekabet ortamında en önemli güçlerinden biridir (Tanga ve Veelenturf, 2019). Günümüz iş dünyasında müşteri talepleri kişiselleşmekte, esneklik ve hızlı teslimat olguları daha da önem kazanmaktadır. Buna yönelik olarak işletmeler lojistik ağlarındaki tüm tedarikçilerle koordinasyonu sağlamaya, tüm süreçlerini optimize etmeye ve doğru kararları hızla almaya çalışmaktadır (Lasi vd., 2014). Bunun yanı sıra izlenebilirlik ve görünürlük yüksek lojistik hizmetlerin anahtarıdır (Busse vd., 2017). Bu bağlamda yüklerin izlenme ve takibi süreçteki tüm taraflara fayda sağlamaktadır. Bunun başarılması taraflar arasındaki koordinasyona bağlıdır (Kamalahmadi ve Parast, 2016). Bu süreçte akıllı BİT (Bilgi ve İletişim Teknolojileri) ve dijitalleşme büyük önem taşımaktadır. Akıllı teknolojiler, IoT ve blok zincir gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinin desteğiyle bir nesnenin bilişsel farkındalığını oluşturmak için makine öğrenmesi, büyük veri gibi yapay zekâ ve veri bilimi teknolojilerinin uygulamalarını ifade etmektedir. Buradaki amaç nesnenin özerkleşmesidir (otonomlaşmasıdır) (Liu vd., 2021). Chung (2021) IoT ve blok zincir destekli yapay zekâ, büyük veri ve makine öğrenmesi ile etkinleştirilen özerklik, şirketlere yüksek operasyon verimliliği, hizmet kalitesi ve daha düşük işletme maliyetleri gibi pek çok fayda sağlamaktadır. Shee vd. (2021) BİT kullanımının ve BT (Bilgi Teknolojileri) yeteneğinin akıllı lojistik üzerinde olumlu etkileri olduğunu bu bağlamda şehirlerin sürdürülebilirliğine de olumlu etkiler sağlayacağını vurgulamıştır. DHL, 2030 yılına kadar lojistikte önemli değişikliklere neden olacak teknolojileri; büyük veri, sensör teknolojisi, artırılmış gerçeklik, 3D baskı, robotlar ve insansız hava araçları olarak belirlemiştir (Chung, 2021). DHL tarafından 2023 senesinde yayınlanan lojistik sektöründeki trend ve beklentilerin özellikle Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik olduğu görülmektedir (Şekil 1).

* 27-29 Nisan 2023'te Eskişehir'de düzenlenen IERFM2023 Kongresinde sunulan bildirinin gözden geçirilmiş ve genişletilmiş halidir.



Şekil 1. Lojistik Sektöründeki Trendler ve Beklentiler (DHL, 2023)

Chung (2021) lojistik yönetimindeki trendleri; “dijitalleşen lojistik ve blok zincir kullanımı”, “makine öğrenimi ile optimizasyon”, “son kilometre teslimatında akıllı teknolojilerin kullanımı”, “uzay lojistiği”, “entegre akıllı şirket içi lojistik” ve “toplu taşımada paylaşım ekonomisi” olarak belirtmiştir. UPS; otonom mobil robotlar, otonom yönlendirmeli araçlar, otomatik sıralama sistemleri gibi otonom kapasitelerden yararlanarak dağıtım merkezlerini daha akıllı ve daha verimli hale getirmeyi amaçlayan akıllı depo teknolojisini tanıtmıştır. Bu bağlamda profesyonel ve özelleştirilmiş kapıdan kapıya lojistik hizmetler sunmaya çalışan pek çok işletme artan personel ve malzeme maliyetleri ile başa çıkmak için dijital ve otomasyon teknolojilerinden faydalanmak zorundadır (Wei, 2019). Bu gelişmeler ışığında çalışmamda akıllı lojistik kavramı, ilgili teknolojiler, iş dünyasında yaratacağı potansiyel faydalar ve engeller araştırılmış ve yakın geleceğe yönelik önerilerde bulunulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde sırası ile Endüstri 4.0 ve akıllı lojistik kavramları açıklanmış, akıllı lojistikte teknoloji kullanımı ve dijitalleşimin önemi vurgulanmış ve akıllı lojistikte kullanılan bazı önemli teknolojiler ve kullanım alanları anlatılmıştır. Son bölümde ilgili gelişmelere yönelik önerilerde bulunulmuştur

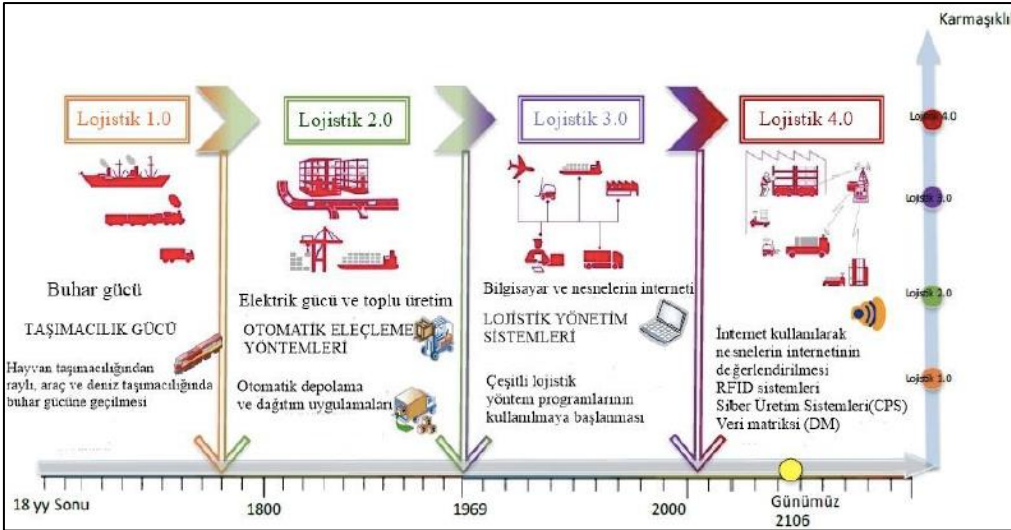
2. ENDÜSTRİ 4.0 VE AKILLI LOJİSTİK KAVRAMI

Üretim ve lojistik iç içedir ve lojistik Endüstri 4.0 için uygun bir uygulama alanıdır (Bauer vd., 2018). Dahası Endüstri 4.0, lojistik fonksiyonu üretim sistemlerine ihtiyaç duyulan girdi faktörlerini doğru zamanda, doğru kalitede ve doğru yerde sağlayabiliyorsa gerçeğe dönüşebilmektedir (Bai vd., 2020). Dolayısıyla, Endüstri 4.0 uygulamaları uyarlanabilir bir lojistik sistemi olmadan başarılı olamamaktadır. Bu bağlamda lojistik fonksiyonlarının, desteklediği Endüstri 4.0’daki üretim sistemleri kadar esnek ve çevik olması gerekmektedir (Douaioui vd., 2018). Sanayi devrimleri teknolojik atılımlar tarafından yönlendirilmektedir. 4. Sanayi Devrimi ileri üretim teknolojilerinin, dijitalleşmenin ve BİT ’in daha fazla benimsenmesine bağlı olarak daha yüksek bir otomasyon ve zekâ düzeyine ulaşmayı temsil etmektedir (Jafari vd., 2022; Qin vd., 2016). Endüstri 4.0, 2011 ’de Hannover ’da IoT ve CPS kavramlarının tanıtılması ile ortaya çıkan bir paradigmadır (Kagermann ve Wahlster, 2013). Endüstri 4.0 konseptinde dijitalleşen sanayileşme veya yeni teknolojiler aracılığıyla fiziksel üretim ile siberin entegrasyonu söz konusudur (Karlı ve Tanyaş, 2020). “4.0 paradigması”; ürünler, makineler, hizmetler ve insanlar arasında gerçek zamanlı iletişime ve gelişmiş dijital araçların kullanımına izin veren internetin artan kullanımının sonuçlarından biridir (Cimini vd., 2020). Bu bağlamda Endüstri 4.0 ile karakterize edilen teknoloji kullanımı lojistik yönetiminin etkinliğini, etkililiğini ve verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir. Hız, esneklik, güvenlik, güvenilirlik, verimlilik artışı ve maliyet azaltımı için kilit rol oynayan bu teknolojiler giderek popülerleşmektedir (Ding vd., 2021).

Jafari vd. (2022)’e göre Endüstri 4.0 ’ın dokuz bileşeni; otonom robotlar, simülasyon, arttırılmış gerçeklik, dikey ve bulut bilişim, yatay entegrasyon, büyük veri analitiği, siber güvenlik, IoT ve eklemeli üretimdir. Zarzuelo vd. (2020) Endüstri 4.0’ın anahtar kelimelerini; IoT/Nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, blok zinciri, enerji çözümleri, robotik, otomasyon, akıllı varlık yönetimi, siber güvenlik, sistem entegrasyonu, arttırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, yapay zekâ ve makine öğrenmesi olarak belirtmiştir. Endüstri 4.0 bu olguların entegrasyonu ile eldeki kaynakların daha verimli kullanılması ve daha yüksek üretkenlik sağlanması amaçlanan teknoloji odaklı bir paradigma değişikliğini ifade etmektedir (Xu vd., 2021). Bu bağlamda Endüstri 4.0; dijitalleşme, otonomlaşma, mobilite, modülerleşme, şeffaflık, iş birliği, ürün ve süreçlerin sosyalleşmesi

eğilimlerini ele almak için bir değer zincirinde sağlanan ve uygulanan yıkıcı yeniliklerin toplamını ifade etmektedir (Pfohl vd., 2016; Alnıpak, 2022). Bir önceki paragrafta da belirtildiği üzere Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri IoT (Internet of Things) ve CPS (Cyber-Physical Systems- Siber Fiziksel Sistemler)'dir (Sharma vd., 2018; Kagermann ve Wahlster, 2013; Wang, 2011). Bu bağlamda, yüksek derecede entegre bir CPS 'de otomasyon ve zekayı birleştirmek, bir Endüstri 4.0 sisteminin olgunluk seviyesini (bağlantı düzeyi, iletişim/konuşma düzeyi, siber düzey, biliş düzeyi ve yapılandırma düzeyi) göstermektedir. En üst seviyedeki bir sistemde çok yönlü iletişim ve kontrol, akıllı karar verme ve otonom operasyonlar daha kolay gerçekleştirilebilmektedir (Azarian vd., 2020). Endüstri 4.0'a yönelik dijital dönüşüm, işletmeleri daha esnek, çevik ve duyarlı hale getirdiği için işletmeler için bir zorunluluk haline gelmiştir. Süreçleri ve operasyonları temelden değiştiren devrim niteliğindeki Endüstri 4.0 teknolojileriyle desteklenen lojistik için de bu durum bir istisna değildir (Richnák, 2022). Bu noktada karşımıza akıllı lojistik kavramı çıkmaktadır.

Akıllı lojistik, geleneksel lojistik ile bir arada var olan ama çok daha gelişmiş seviyede bir lojistik konseptidir. Hem teknolojik hem iş modelleri açısından yenilik arayışlarıdır. Bu bağlamda "Akıllı Lojistik"; lojistik süreçlerde yüksek verimlilik, maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik elde etmek için kaynakların kullanımını optimize etmeyi, operasyonların yönetimini otomatikleştirmeyi amaçlayan bir kavramdır. Bu konsept, Endüstri 4.0 'ın içerdiği temel teknolojilerin lojistik süreçlere entegrasyonu ile lojistik kaynakları birbirine bağlamayı, akıllı ağlar oluşturmayı, gerçek zamanlı takibini, veri alışverişini ve otomatik karar verme süreçlerini destekleyen lojistik sistemleri ifade etmektedir (Wenwen, 2022). Barretto vd. (2017) akıllı lojistiği; esnek, pazar değişikliklerine ve müşteri ihtiyaçlarına göre ayarlanabilen lojistik sistemler olarak tanımlamaktadır. Müller ve Voigt (2018) "Akıllı Lojistik (Lojistik 4.0)" kavramını Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistiğe yönelik uygulamaları ve etkileri olarak tanımlamaktadır. Dijital dönüşüm temelli teknolojilerin lojistik süreçlerde kullanımı "akıllı lojistik" veya "lojistik 4.0" olarak ifade edilmektedir (Karlı ve Tanyaş, 2020). Bu bağlamda lojistiğin geçirdiği evrimlerin Şekil 2 'de görüldüğü üzere son aşamasıdır (Tekin vd., 2020).



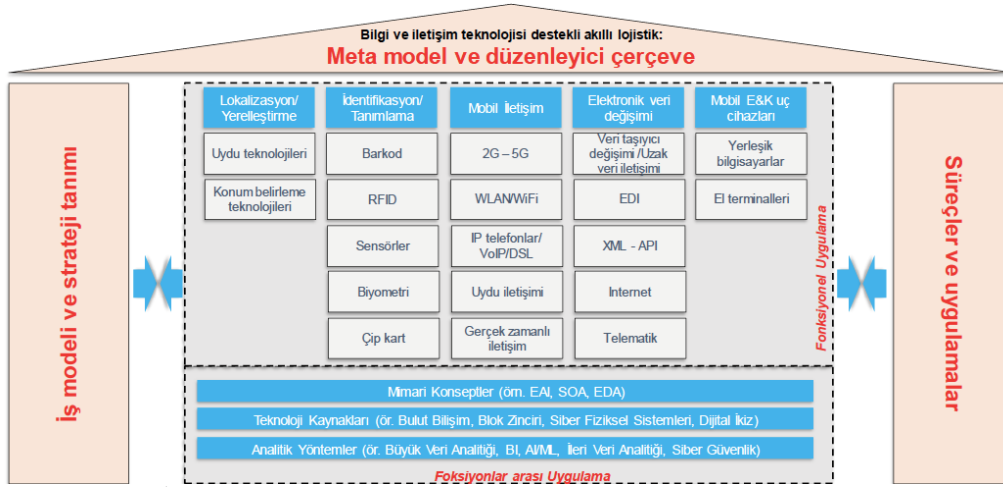
Şekil 2. Lojistik Evriminin Evreleri (Tekin vd., 2020)

Akıllı lojistik; hızla değişen müşteri beklentilerinin zorluklarını karşılamayı, yeni teknolojilerin getirdiği fırsatları değerlendirmenin ve yeni iş modellerini kolaylaştırmanın etkili bir yoludur (Ding vd., 2021). Otonom lojistik (Windt ve Hülsmann, 2007), akıllı ulaştırma sistemleri (ITS) (Avrupa Komisyonu 2019), Fiziksel İnternet (PI, π) (Montreuil vd., 2013), akıllı nakliye (Sternberg vd., 2010) ve müşteri odaklı akıllı lojistik (Mcfarlane vd., 2016), tipik akıllı lojistik türleridir. Akıllı lojistiğin kendi önceliklerine göre çeşitli türleri olmasına rağmen, tamamı BİT'lerin uygulanmasına bağlıdır. Şüphesizdir ki taraflar arası hızlı yanıt, entegrasyon, iş birliği, gelişmiş yönetim ve koordinasyon gibi öğeler teknoloji kullanımını gerekli kılmaktadır (Ding vd., 2021). Akıllı lojistik, tüm tedarik zinciri boyunca ve zincirdeki ürünler, insanlar ve araçlar gibi kaynaklar genelinde takip ve görünürlük sağlamaktadır (Douaioui vd., 2018). Bu bağlamda akıllı lojistiğin; artan araç filoları, karmaşık ulaşım ağları ve artan teslimat taleplerine çözüm olacağı belirtilmektedir (Lee vd., 2016). Akıllı lojistik konsepti çevresel sürdürülebilirlik ile de yakın ilişkilidir. Lojistik sektöründeki CO₂ emisyonlarının büyük bir kısmı ulaştırma, depolama ve paketleme faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Taşımacılık emisyonları içinde, yük taşımacılığı yaklaşık %66 'lık bir paya sahiptir. Karayolu taşımacılığı bu payın yaklaşık % '77 'sini tek başına oluşturmaktadır (Liang, 2021). Bu bağlamda akıllı lojistik kavramının önemi çevresel sürdürülebilirlik bağlamında da kritiktir. Araştırmalar akıllı lojistik uygulamalarının karbon emisyonlarında önemli ölçüde azalmalara yol açabileceğini vurgulamaktadır (Pan vd., 2020; Bamberg vd.,

2012). Issaoui vd. (2020) akıllı lojistiğin, ambalajlama ve paketleme malzemelerinin yeniden kullanılmasına, iade ürünlerin ve atıkların yönetimine ve güvenli imhasına odaklanarak lojistik endüstrisini daha sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlayan tersine lojistiği kolaylaştırma potansiyeline işaret etmektedir. Bunların yanı sıra akıllı lojistik sistemler, taşıma sürelerini kısaltarak maliyetleri ve karbon emisyonlarını düşürecektir. Benzer şekilde etkin filo ve rota optimizasyonu ile birbirinden bağımsız taşımalar konsolide edilerek sefer sayıları, trafik yoğunluğu ve zararlı emisyonlar azaltılabilecektir.

Akıllı lojistik üç farklı boyutta değerlendirilebilmektedir. Bunlar; *yönetim* (dijitalleşmeye bağlı olarak süreçlerin entegre edilerek yönetilmesi), *malzeme akışı* (otomatize depolar, robotik, IoT, 3 boyutlu yazıcıların ve arttırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımı ile operasyonların daha verimli hale getirilmesi) ve *bilgi akışı* (Büyük veri/Big Data vb. teknolojilerin kullanımı ile gerçek zamanlı veri akışı), RFID (Radio Frequency Identification-Radyo Frekansı ile Tanımlama), gerçek zamanlı konum takibi, ERP (Kurumsal Kaynak Planlaması) ve depo yönetim sistemleri gibi bilgi sistemlerinin kullanılarak etkin veri akışının sağlanması ve süreçlerin daha şeffaf hale getirilmesi) boyutlarıdır (Karlı ve Tanyaş, 2020). Akıllı lojistiğin bazı temel özellikleri bulunmaktadır. Bunlar;

Akıllı lojistik teknoloji (IoT, büyük veri, CPS, 5G, yapay zekâ, bulut, blok zincir, robotik, RFID, GPS vb.) odaklıdır. Teknolojik araçlar ve sistemler lojistik süreçlerde oluşan büyük veri hacminin işlenmesini, rota optimizasyonunu ve faaliyetlerin otonomlaştırılmasını sağlamaktadır (Wenwen, 2022). 5G ile lojistik operasyonların gerçek zamanlı kontrolü ve takibi kolaylaşmakta, IoT kullanım ağı genişlemekte ve daha çok cihazın bağlanabilirliği sağlanmaktadır (Yuan vd., 2018). Bu iki teknolojinin birlikte kullanımı personel, ekipman, yük, tesis ve daha pek çok bileşenin etkin şekilde entegrasyonunu arttırmaktadır. Ayrıca operasyonların 7/24 gerçek zamanlı denetimi ile yüklerin güvenliği artmaktadır. Yapay zekâ kullanımı ile veri yönetiminde optimizasyon sağlanmakta, insan hataları minimize edilmekte, süreç iyileştirmeleri kolaylaşmakta ve dijitalizasyon arttırılmaktadır. Dijitalleşmenin artışı lojistik açısından çok önemli olan intermodal taşımacılık süreçlerinin verimliliğini de arttırmaktadır. Kayıkcı (2022) BİT ile desteklenen akıllı lojistik sistemini Şekil 3' deki gibi şematize etmektedir.



Şekil 3. Bilgi ve İletişim Teknolojileri ile Desteklenen Akıllı Lojistik Sistemine Genel Bir Bakış (Kayıkcı, 2022)

- ✓ **Akıllı lojistik uygulama senaryosu odaklıdır.** Malların taşınması, depolanması, paketlenmesi ve elleçlenmesi gibi temel lojistik operasyonlar akıllı lojistiğe dahil edilmelidir (Tang, 2020).
- ✓ **Akıllı lojistiğin üçüncü özelliği optimal karar verme arayışıdır.** Lojistik hizmetler, sevki edilen yükler, tüm organizasyon ve altyapı hakkında veri toplayan ve hesaplayan birleşik, kapsamlı bir yönetim sisteminin kurulmasını gerektirmektedir. Buna yönelik olarak olağanüstü veri işleme kapasitesi ve iyi tasarlanmış algoritmalar gerekmektedir (Wang, 2018).
- ✓ **Akıllı lojistiğin son özelliği görselleştirilebilmesidir.** Gerekli bilgilerin gösterimi, etkileşimli multimedya araçları ve dijital teknolojilerin kullanımı ile kullanıcı dostu hale getirilmektedir (Li ve Yao, 2021).

3. AKILLI LOJİSTİKTE TEKNOLOJİ KULLANIMI VE DİJİTALLEŞME

Akıllı lojistik hem şirket içi hem de şirketler arası lojistik süreçler ve ağlar için, insanların rolünde dikkate değer değişiklikler içeren, otonom ekosistemler yaratmak için en son bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılması anlamına gelmektedir. Buna yönelik olarak özellikle CPS ve IoT kullanılarak akıllı nesnelere birbirine bağlanmakta, siber-fiziksel ortamlarda veri alışverişinde bulunulmakta ve sistemler otonom kararlar

alabilmektedir (Wenwen, 2022). Jafari vd. (2022)'e göre akıllı lojistik operasyonları; akıllı depo yönetimi, akıllı taşımacılık, dijital ikiz vb.'nin ortaya çıkmasına yol açan yeni teknolojik çözümlerin artan kullanımıyla mümkün olmaktadır. Wang (2016) Endüstri 4.0 teknolojilerinin çeşitli lojistik operasyonlara entegre edilmesini Lojistik 4.0 kavramı ile tanımlamaktadır. Strandhagen vd. (2017), lojistik yönetimine yönelik uygulanan Endüstri 4.0 teknolojilerini 4 grupta incelemektedir. Bunlar;

- I. *Karar Destek ve Karar Verme* – Yapay Zekâ (AI) ve Büyük Veri (Big Data) Analitiğinin karar süreçlerini otomatikleştirme veya veriye dayalı bir yaklaşımla insan kararlarını destekleme potansiyellerini ifade etmektedir.
- II. *Tanımlama ve Ara Bağlantı*- ürünleri ve malzemeleri benzersiz bir şekilde tanımlayabilen ve sonuç olarak fabrikaların içinde ve dışında ürünlerin izlenmesini ve izlenmesini iyileştirebilen IoT ve akıllı sensör teknolojilerini ifade etmektedir.
- III. *Kesintisiz Bilgi Akışı*, daha hızlı yanıt veren gerçek zamanlı bir üretim planlamasına ve çizelgelemeye izin vermek amacıyla birden çok kaynaktan gelen verilere ve bilgilere gerçek zamanlı erişim sağlamak için Bulut Bilişimden de yararlanan BT sistemleri entegrasyonunu (veya dikey entegrasyonu) ifade etmektedir.
- IV. *Otomasyon, Robotlar ve Yeni Üretim Teknolojileri* – manuel işlemlerde insan işinin yerini alabilen veya destekleyebilen yeni cihazların ve akıllı ulaşım sistemlerinin tanıtılmasıyla ilgilidir.

Şüphesizdir ki akıllı lojistik, işletmeler açısından pazara yönelik gereksinimlerinden üretim planlamasına ve son mil teslimatlara kadar Endüstri 4.0 süreçlerini desteklemelidir. Bu açıdan lojistik süreçlerin dijitalleştirilmesi zorunluluktur (Demiralay ve Kara, 2022:7). Radivojevic vd. (2019) sistemlerin dijitalleşmesine yönelik gerekli özellikleri; iş birliği, bağlantı, uyarlanabilirlik, entegrasyon, otomasyon ve bilişim olarak sıralamaktadır. Bu bağlamda lojistiğin dijitalleşmesinde teknoloji ve ilgili teknolojilerin kullanım alanları büyük önem taşımaktadır.

3.1. Akıllı Lojistikte Kullanılan Bazı Önemli Teknolojiler ve Kullanım Alanları

Akıllı lojistik tanımından da anlaşılacağı üzere akıllı lojistik fonksiyonları Endüstri 4.0 teknolojileri tabanlı çalışmaktadır. Cimini vd. (2020) bu teknolojilerin kullanıldığı alanları Tablo 1 'deki gibi akıllı dahili ve akıllı harici lojistik süreçlere göre gruplandırmıştır. Ayrıca her iki grubun alt gruplarını malzeme akışları taşıma teknolojileri ve bilgi akışı yönetimi teknolojileri olarak tanımlamıştır. Bu gruplandırmaya göre akıllı dahili lojistik süreçler için kullanılan teknolojiler; dış iskeletler (malzeme akışları için insan performansını iyileştiren ve iş yeri yaralanmalarını önleyen exoskeletons), AGV (insanlardan malzeme taşımaya devralan yardımcı tekerlekli robotlar), drone (depo raflarına tırmanma, toplama veya envanter denetimi sırasında tehlikeli işler yapma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır), işbirlikçi robotlar/COBOTs (parça ve ürünlerin yerleştirme, yükleme-boşaltma, muayene, donatım ve paketleme faaliyetlerine yönelik), el bilgisayarları, giyilebilir tarayıcılar, voice-direct kulaklıklar, akıllı gözlükler ve aktivite izleyicilerdir. Akıllı harici lojistik süreçler için kullanılan teknolojiler ise akıllı yük taşıma donanımları (vinçler, kamyonlar, forkliftler), akıllı konteynerler (konum, sıcaklık, nem, CO₂ seviyesi, titreşim, izinsiz kapı açılması hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlamaktadır) ve görsel analitik araçlarıdır. Tüm bu sistemlere yönelik gömülü "zekâ", karar vermede lojistik sistemlere yüksek derecede özerklik sağlayarak merkezi olmayan kontrol stratejilerinin benimsenmesine izin vermektedir. Shee vd. (2021) ilgili teknolojileri ve kullanım alanlarını Tablo 2 'deki gibi gruplandırmaktadır. Tablo 2 'den sonraki paragraflarda ise akıllı lojistikte kullanılan bazı önemli teknolojiler ve kullanım alanları genel hatları ile açıklanmıştır.

Tablo 1. Akıllı Lojistik Operasyonları ve İlgili Teknolojiler (Cimini vd., 2020)

Lojistik	Alan	Destekleyici Teknolojiler	Faydaları
Dahili Lojistik	Toplama	Dış iskeletler (kaldırma) AGV'ler (toplama) Dronelar (toplama) İşbirlikçi Robotlar (toplama) El Bilgisayarları (sipariş bilgileri toplama) Giyilebilir Tarayıcılar (barkodlar, RFID etiketleri) Kulaklıklar (ses toplama) Akıllı Gözlükler Etkinlik İzleyiciler (adımlar, kalp atış hızı)	Daha Az Yorgun Operatörler Verimli Emek Daha Hızlı Toplama Toplama Doğruluğu Daha Hızlı Bilgi Alışverişi Azaltılmış İşletme Giderleri
	Ambalajlama	İşbirlikçi Robotlar (denetim, teçhizat ve paketleme) Etiketleme Sistemleri	Daha Az Yorgun Operatörler Operatörler için Daha Az Risk Verimli Emek Daha Hızlı Paketleme Daha Hızlı Bilgi Alışverişi

	Depolama	Dış iskeletler (hareket) AGV'ler (hareket) Dronlar (hareket) İşbirlikçi Robotlar (yükleme-boşaltma) Akıllı Sensörler (Beacon cihazları)	Azaltılmış İşletme Giderleri Daha Az Yorgun Operatörler Operatörler için Daha Az Risk Verimli Emek Konum Doğruluğu Verimli Alan Kullanımı Gelişmiş Envanter Görünürlüğü Tam Zamanında Stok Daha Hızlı Bilgi Alışverişi Azaltılmış İşletme Giderleri
	Malzeme Taşıma	Dış iskeletler (hareket) AGV'ler (hareket) Dronlar (hareket) İşbirlikçi Robotlar (yükleme-boşaltma) Akıllı Sensörler (Beacon cihazları) Giyilebilir Tarayıcılar	Daha Az Yorgun Operatörler Operatörler için Daha Az Risk Verimli Emek İç ve dış Optimizasyon Daha Az Risk Azaltılmış İşletme Giderleri
Harici Lojistik	İzlenebilirlik	Akıllı Konteynerler Görsel Analitik Araçlar	Görünürlük Şeffaflık Öngörülebilirlik Uyarlanabilirlik Daha İyi Kalite Kontrol Daha Az Güvenlik Riski Gerçek Zamanlı Karar Verme Daha Hızlı Bilgi Alışverişi Azaltılmış İşletme Giderleri
	Lojistik Akışları ve Stok Yönetimi	Akıllı Kargo Taşıma Teçhizatı Akıllı Konteynerler Sanal Asistanlar Görsel Analitik Araçlar	Görünürlük Şeffaflık Öngörülebilirlik Uyarlanabilirlik Daha İyi Kalite Kontrol Tedarikçiler ile Entegrasyon Bilgi Doğruluğu Daha Hızlı Bilgi Alışverişi Azaltılmış İşletme Giderleri Gelişmiş Müşteri İlişkileri Gelişmiş Tedarikçi İlişkileri

Tablo 2. Akıllı Lojistik Fonksiyonları ve İlgili Teknolojiler (Shee vd., 2021)

Akıllı Lojistik İşlevleri	İlgili Teknolojiler	Uygun Uygulamalar
Tanımlama	Barkod, RFID, kablosuz sensörler, retina tarayıcı	Tedarik zincirinin tüm aşamalarında nesnelerin güvenli bir şekilde tanımlanması
Konum hizmetleri	Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS-Global Positioning Systems)	Nesnelerin/insanların yerdeki konumunu gerçek zamanlı olarak belirlemek için kullanılan uydu navigasyonu
Durum izleme	IoT sensörleri (soğutma ünitesi, eksik parçalar/yük, lastik basıncı, araç freni)	İyi durum, hata tespiti, eksik parçalar vb. için ürünlerin/araçların mevcut durumlarının görüntülenmesi
Bağlanabilirlik	4G, 5G ağı	İletişim ağı, buluta bağlı IoT özellikli nesneleri desteklemektedir
Görünürlük	GPS	Yüklerin/araçların hareketinin gerçek zamanlı izlenmesi ve takibi
Çevresel tarama	IoT kablosuz sensörler	Çevre ile etkileşime girerek ilgili verileri (sıcaklık, kirlenmeler vb.) ayrıntılı düzeyde iletebilmektedir
Özerklik	Gömülü IoT sensörleri ve aktüatörleri	İnsanın faaliyetlerinin akıllı ürünler ve makineler tarafından yapılmasına olanak verir
Uyumluluk	Depo yönetim sistemleri (Warehouse Management System- WMS'ler) ve ERP	Mevcut teknolojilerin yeni teknolojiler ile entegrasyonunu sağlamaktadır
Veri analizi	WMS ve ERP sistemleri	İş zekâsı için verileri analiz edebilmekte ve raporlar oluşturabilmektedir
Güvenlik ve emniyet	IoT kablosuz sensörler	Gerçek zamanlı veriler vasıtasıyla nesnelerin güvenliğine, güvenilirliğine ve emniyetine (örneğin, gıda maddeleri ve tehlikeli mallar) yardımcı olmaktadır.

Akıllı Lojistik ve IoT Teknolojisi: IoT (Internet of Things-Nesnelerin İnterneti) ve Big Data (Büyük Veri) gibi yeni teknolojik çözümler sadece endüstriler için değil, aynı zamanda gelişen lojistik ve tedarik zinciri yönetimi için de fırsatlar yaratmaktadır (Witkowski, 2017). IoT, bir dizi cihaz arasında ara bağlantı ve etkileşimi mümkün kılan, doğru ve gerçek zamanlı bilgi iletimini gerçekleştirmeye yardımcı bir sistemdir (Yang, 2021). Bu bağlamda IoT; ilgili süreçlerde kullanılan teknoloji, sistem ve diğer tüm bileşenleri entegre ederek akıllı olarak çalışmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda durum ve konumları bilinen bu akıllı nesneler arası bilgi alışverişini sağlayarak otonom kararlar alabilen akıllı sistemler oluşturulabilmektedir (Wenwen, 2022). IoT uygulamaları,

M2M (Machine to Machine-Makineden Makineye) ve insandan makineye etkileşimleri arttırmaktadır (Atzori vd., 2010). Ding vd. (2021) IoT tabanlı teknolojilerin lojistik süreçlerde kullanımını 3 aşamada gruplamıştır. Bunlar; akıllı taşımacılık, akıllı depolama ve akıllı teslimattır. Akıllı taşımacılık bağlamında kullanımı ile; yükleme kapasitesi israfının ve yükleme hatalarının azalacağı, görselleştirmenin, operasyonel verimliliğin ve ulaştırma güvenliğinin artacağı belirtilmiştir. Depolama; teslim alma, yerleştirme, sipariş toplama, yükleme gibi faaliyetleri kapsayan bir süreçtir. Bu bağlamda yazarlar akıllı depolamayı; farklı teknolojilerin kullanımı ile yüksek operasyonel verimliliğin sağlandığı, alanın optimum kullanıldığı, yerleştirme hatalarının olmadığı ve envanter kayıtlarının tam doğrulukla tutulduğu depolar olarak tanımlamaktadır. Akıllı depolar, karmaşıklığı ve çeşitliliği yüksek siparişlerin depolama sürecinin yönetiminde büyük faydalar sağlamaktadır (Lee vd., 2018; Ding vd., 2021). IoT teknolojisi depolarda nesnelere nesnelere ve operatörleri nesnelere bağlamaktadır. Raflar, paletler, ürünler, insanlar, forklift ve ekipmanlar izlenebilmekte, bu süreçte elde edilen bilgiler WMS ile entegre edilmekte, karar desteği sağlanmakta ve hızlı yanıt verme kabiliyeti artmaktadır (Trab vd., 2017). Lojistik süreçler içinde en önemli kısımlardan birisi de teslimattır. Teslimat, yüklerin bir depodan veya dağıtım merkezinden belirlenen yere zamanında teslimini ifade etmektedir. Teslimatta amaç; hız, güven, doğruluk, verimlilik, hasarsızlıktır (Cagliano vd., 2017; Yang vd., 2015; Ruan ve Shi, 2016). Bu bağlamda verimli bir teslimat süreci ve kaynak optimizasyonu için akıllı teknolojilerin kullanılması önem taşımaktadır (Wang vd., 2019). İnternet tabanlı, nesnelere arası etkileşimi, veri alışverişini sağlayan IoT teknolojisi; RFID, WSN, M2M gibi algılama ve tanımlama teknolojileri ile birlikte sıklıkla kullanılmaktadır (Feng vd., 2012; Miorandi vd., 2012). Teslimat bilgilerinin sağlanmasında ve teslimat takibinde IoT, RFID ve WSN kullanılabilen, teslimat araçlarına IoT tabanlı sensör, RFID etiketi ve GPS takılarak gerçek zamanlı takip ve nesnelere arası iletişim gerçekleştirilebilmektedir (Yu vd., 2015; Ding vd., 2021).

Mevcut şartlarda lojistikte uygulanan IoT teknolojisi, esas olarak RFID, WSN'ler ve ZigBee'den oluşmaktadır. Bunların yanı sıra parmak izi ve yüz tanıma gibi biyometrik tanımlama teknolojileri kullanılarak makine-insan etkileşimleri iyileştirilebilmektedir. Lee ve Lee (2015)'e göre IoT özellikli araç izleme ve takip sistemleri ile rota optimizasyonu sağlanabilmekte, maliyetler azaltılabilmekte ve verimlilik artırılabilir. Bunların yanı sıra bulut teknolojisi ile IoT'un entegrasyonu olan IoT tabanlı bulut (Cloud-IoT/CoT) teknolojisi kullanılarak IoT'un bazı yetersizlikleri tamamlanmakta, taraflar arası paylaşım kolaylaşmakta, bağlanabilirlik ve iş birliği arttırılmaktadır (Yan vd., 2014). Şüphesizdir ki IoT teknolojisi; üretkenliği, verimliliği ve güvenilirliği arttırmak için akıllı makinelerin, gelişmiş tahmine dayalı analitiğin ve makine-insan iş birliğinin kombinasyonunu sağlayan endüstriyel bir sistem yaratmaktadır (Kamble vd., 2018).

Akıllı Lojistik ve Blok Zincir Teknolojisi: Blok zincir, merkeziyetsiz bir yönetim ile uçtan uca olmak üzere eşler arası yapılan işlemlerin kaydedildiği dijital bir defterdir (Toufaily, 2021; Popper, 2015). Blok zincirdeki işlemler her blok bir önceki bloğa bağlı şekilde bir zincir hâlinde sıralanmaktadır. Bloklar birleşerek bir zincir hâlini almakta ve geriye dönük olarak değiştirilemeyen dijital defterler oluşturulmaktadır (Zheng vd., 2018). Bu bağlamda blok zincir, bloklar oluştuktan sonra içeriği değiştirilemeyen dijital bir defter olarak tanımlanmaktadır. Bu yapı güvenli, tüm zincirin kopyalarını tutan, iş birliğine dayalı ticaret için temel sağlayan ve lisans sahiplerinin güvenilir verilere gerçek zamanlı olarak erişmesine izin veren bir teknolojidir (Toufaily, 2021; Alnıpak, 2022). Lojistik yönetiminde tam zamanlı bilgi akışı büyük önem taşımaktadır. Blok zincir teknolojisinin temel özellikleri, güvenlik ve tam zamanlı iletişim kurma konularında önemli fırsatlar sunmaktadır. Blok zincir teknolojisinin en önemli özellikleri *kriptoloji* (güvenlik gücünün yüksekliği), *şeffaflık* (yapılan tüm işlemlerin zinciri oluşturan tüm bloklar tarafından görülebilmesi), *kişiden kişiye aktarım* (3. taraflara ihtiyaç duyulmadan taraflar arası aktarım) ve *akıllı kontratlar* (işlem yapan kullanıcıların programlanabilen kodlar tarafından temsil edilebildiği, mutabakata varılmış, kendi kendini yürüten sözleşmelerdir). Tüm bu özelliklere bağlı olarak lojistik yönetimi bağlamında blok zincir teknolojisinin kullanımı şeffaflığı, işlem hızlarını ve güvenliğini arttırmakta, aracı ve işlem maliyetlerini azaltmaktadır (Tekin vd., 2018).

Akıllı Lojistik ve Drone Teknolojisi: Drone/İnsansız Hava Aracı (İHA) "içerisinde insan bulunmayan otonom olarak veya yönlendirilebilen uzaktan kumandalı uçaklar" olarak tanımlanmaktadır (Turgut ve Şeker, 2022). Bir pilot veya yerleşik bir bilgisayar tarafından uzaktan kontrol edilen robotik uçaklar olan dronelar, yerine kullanıldıkları araçlarla karşılaştırıldığında CO₂ emisyonu ve atık oluşturma açısından avantajlı konumdadır (Alnıpak, 2022; Alnıpak ve Dördüncü, 2021). İHA'lar son yıllarda sivil uygulamalarda en çok kullanılan araçlardan biri olmuştur. Bu bağlamda hem kamu hem de sivil sektörde İHA'lar yeni fırsatlar yaratmaktadır. Taşıma ve teslimat şirketleri (PaketKopter ile DHL, Amazon PrimeAir ile Amazon, Project Wing ile Google ve yakın zamanda GeoDrone ile GeoPoste), kargo teslimlerinde drone teknolojisinin kullanımına yönelik test ve pilot çalışmaları yapmaktadır (Ranieri vd., 2018).

Akıllı Lojistik ve Bulut Teknolojisi: Bulut teknolojisi, verilerin ve bilgi işlem hizmetlerinin internet üzerinden depolanması ve bunlara erişilmesi olarak tanımlanmaktadır. Verilere kolay ve hızlı erişim, veri kayıplarının önlenmesi sektördeki tüm paydaşlar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda bulut tabanlı, işbirlikçi veri paylaşım platformları gerçek zamanlı görünürlüğü ve bağlantıyı kolaylıkla sağlayabilmektedir (Alınpak ve Dördüncü, 2021; Kim, 2017; Alınpak, 2022). Bulut işleme (Cloud Computing) teknolojisi, IoT, Big Data ve yapay zekanın geliştirilmesinde temel desteklerden biridir. Bulut teknolojisi, lojistik kaynakların entegrasyonu ve koordinasyonu, verilerin saklanması, işlenmesi gibi temel sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Bu teknoloji, gerçek zamanlı ve dinamik yanıtlar verebilmekte, cihazların ömrünü uzatabilmekte ve güvenilirliğini sağlayabilmektedir (Botta vd., 2016). Tjahjono vd. (2017) ve Diniz vd. (2022)'ye göre internet tabanlı bulut, büyük veri analitiği ve iş zekâsı teknolojileri IoT ile birlikte dijital tedarik zinciri 4.0 konseptini desteklemektedir.

Akıllı Lojistik ve Büyük Veri Teknolojisi: Endüstri 4.0; üretim, tedarik zinciri, pazarlama gibi birçok alanda, süreçlerin takibi, yönetimi ve kontrolü için çeşitli olanaklar sunmaktadır. Bu süreçlerde çok miktarda ve büyük boyutlu veriler üretilmektedir. bu bağlamda istenen anda, talep edilen bilgiye ulaşabilmek için büyük veri olarak tanımlanan yığının analiz edilmesi gerekmektedir (Aylak vd., 2020). Büyük veri teknolojisi, IoT ile bağlanan nesnelere elde edilen devasa boyuttaki verinin işlenmesi ve analizinde kullanılmaktadır. Bu teknoloji; geçmiş verileri modellemede, analiz etmede, veri madenciliğinde, tahminleme, süreç optimizasyonu ve kaynak tahsisi yapmada, karar desteği sağlamada ve maliyetlerin azaltılmasında kullanılmaktadır (AlShaer vd., 2019). Ayrıca ileri simülasyon teknolojisi ile karmaşık sistemlerin davranışları analiz edilebilmektedir (Klee ve Allen, 2018). Büyük veri analizleri ile akıllı ulaşım sistemleri kurulabilmekte, envanter yönetimi ve lojistik planlamalar çok daha etkin olarak yapılabilmektedir (Aylak vd., 2020).

Akıllı Lojistik ve CPS Teknolojisi: CPS, veri toplamak için sensörlere, sistemlerin kontrolü için aktüatörlere sahip verileri saklayabilen ve değerlendirme olanağı sunarak gerçek dünya ile sanal dünya arasında bağlantı kurabilen sistemlerdir (Wenwen, 2022). Siber-fiziksel sistemler, otonom olarak bilgi alışverişi yapabilen, eylemleri tetikleyebilen ve birbirini kontrol edebilen mekanizmalardır. Bu teknoloji ile fiziksel dünyayı gerçek zamanlı olarak izlemek ve hareket etmek için sensörler, yazılımlar, iletişim öğeleri ve aktüatörler entegre edilmektedir. Bu süreçte CPS'lerin kontrol etmesi gereken çeşitli ağlar bulunmaktadır. Bunlar; altyapının birbirine bağlı bileşenlerinden oluşan fiziksel ağ, akıllı denetleyicilerden oluşan siber netetik ağ ve bunlar arasındaki iletişim bağlantılarıdır (Douaioui vd., 2018). Siber fiziksel sistemler; operasyonların bilgi işlem ve iletişim sistemleri ile takibinin, koordinasyonunun, kontrolünün ve entegrasyonunun sağlandığı bir mühendislik sistemi olarak tanımlanmaktadır. Özetle fiziksel dünya ile siber sistemleri ağlar yardımıyla birbirine entegre eden CPS; sensörler vasıtasıyla fiziksel dünyadaki hareketleri toplamakta ve elde ettiği verileri internet aracılığıyla diğer nesnelere paylaşmaktadır (Taş ve Alagöz, 2021). CPS teknolojileri; ürünlerin takibinde, zincirdeki bileşenlerin güvenliğinin sağlanmasında, talep, envanter ve satış hakkında veri sağlamada ve üretimdeki normal dışılıkları tahmin etmede kullanılabilir (Gönçer, 2021). CPS tarafından yönetilebilen ve izlenebilen lojistik aktivitelerin sağladığı en büyük avantajlar; sistematik yükleme organizasyonu, akıllı çizelgeleme, iş birliği, güvenlik, optimizasyon (kapasite, rota vb.) ve maliyet minimizasyonudur (Dönmez vd., 2021).

Akıllı Lojistik ve Yapay Zekâ Teknolojisi: Lojistik süreçlerin karmaşıklığı ve artan maliyetler, paydaşların çeşitli teknolojilerden faydalanmasını zorunlu kılmaktadır. Bunlardan birisi yapay zekâ (AI-Artificial Intelligence) teknolojisidir. AI, akıllı teknolojilerin çekirdeğidir ve bir sistemin harici verileri doğru bir şekilde okuma, ondan öğrenme ve esnek uyarılma yoluyla belirli hedeflere ve görevlere ulaşmak için bu öğrenmeleri uygulama becerisine ve veriye dayalı karar verme tekniğine atıfta bulunmaktadır. Yapay zekâ insan zekasını makinelerle simüle etmek, öğrenmek ve geliştirmek için kullanılan bir teknolojidir. Makinelerin deneyimlerden öğrenmesini, yeni girdilere uyum sağlamasını ve insan benzeri görevleri gerçekleştirmesini sağlamaktadır (Lecun vd., 2015). Bilgisayarlar, derin öğrenme (deep learning) ve doğal dil işleme kullanılarak belirli görevleri yerine getirmek üzere eğitilebilmektedir. Bu bağlamda geçmiş ve gerçek zamanlı veriler kullanılarak geleceğe yönelik tahminleme yapılabilir ve gereksiz veriler ayıklanabilmektedir. IoT tarafından toplanan bu veriler yapay zekâyı daha akıllı hale getirebilmekte ve bu yolla alınan kararlar IoT cihazları tarafından uygulanabilmektedir. Akıllı lojistik uygulamalarında yapay zekâ teknolojisi karar desteği sağlayabilmekte ve lojistik performansı arttırmaktadır (Zhou vd., 2014; Tsang vd., 2018). Bu bağlamda yapay zekâ tipik olarak insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen akıllı makineler oluşturmayı kapsamaktadır. Bu bağlamda yapay sinir ağları da dahil olmak üzere akıl yürütme, bilgi temsili, planlama, öğrenme, işleme ve makine öğrenimi yaklaşımları söz konusudur (Sigov vd., 2022). Önceki paragraflarda da belirtildiği üzere lojistik süreçler büyük miktarda verinin toplandığı süreçlerdir. Bu hacimdeki veri ile orta ve kısa vadeli tahminler

yapmak için yapay zekâ kullanımını zorunluluktur. Bu veriler *veri madenciliği* sürecinin ilk aşamasında örüntü tanıma kullanılarak analiz edilmekte ve kategorilere ayrılmaktadır. Makine öğrenmesi sistemi daha sonra kesin tahminler sağlamak için bu verileri işlemektedir. Örneğin teslimat süreçlerinde yapay zekâ mevcut en iyi rotayı ve araç atamasını sağlayarak süreçleri optimum performansla planlamak için trafiği ve alan topografyasını işlemekte, kaza ve trafik sıkışıklıklarına bağlı acil durumlarda gerçek zamanlı verileri kullanarak sürücülere yardımcı olmaktadır (Haenlein ve Kaplan, 2019; Gutierrez-Franco vd., 2021; Chu vd., 2021; Sorooshian vd., 2022).

Akıllı Lojistik ve Otonom Robot Teknolojisi: Manuel elleçlemenin yerine lojistik süreçlerin robotlar tarafından otomatik olarak yürütülmesi Robojistik (Robot +Lojistik) kavramı ile tanımlanmaktadır (Kayıkçı, 2022). Otonom robotlar, otonom üretimi daha hassas bir şekilde gerçekleştirmekte ve insanlarla yan yana ve hatta insanların kısıtlı olduğu yerlerde çalışabilmektedir. Otonom robotlar, esneklik, güvenlik, çok yönlülük ve iş birliğine odaklanarak görevleri zamanında ve doğru bir şekilde tamamlama yeteneğine sahiptir ve ilgili süreçlerde kullanılabilir (Graetz ve Michaels, 2018). Robotik ve otomasyon teknolojilerinin lojistik süreçlerde kullanılması; insan hatalarının azaltılması, karmaşık sistemlerin çözülmesi, daha yüksek verimlilik ve etkinlik sağlanması, güvenilir çıktılar elde edilmesi, ölçme ve değerlendirme yapılması gibi avantajlar sağlamaktadır (Aylak vd., 2020). Ayrıca robotlar müşterilere akıllı lojistik hizmetler sunmak için yenilikçi bir teknolojiyi temsil etmek üzere son kilometre lojistiğinde de kullanılmaya (pilot çalışmalar olarak) başlanmıştır (Kayıkçı, 2022).

Akıllı Lojistik ve Sanal Gerçeklik Teknolojisi: Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik, birbirini tamamlayan Endüstri 4.0 teknolojileridir. Sanal gerçeklik; yazılımsal ve donanımsal destekler ile sanal ortamda üç boyutlu olarak deneyim yaşanan uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Şekerci, 2017). Artırılmış gerçeklik ise grafik, bilgi, ses, GPS verisi veya video gibi bilgisayarlar tarafından sağlanan girdiler ile artırılan ve gerçek dünyadaki bir ortamın canlı görüntüsünü sunan sistemleri ifade etmektedir (Demirezen, 2019). Sanal gerçekliğin yardımıyla, kullanıcılar kulaklık gibi ekipmanlar aracılığıyla sanal bir dünyaya rahatlıkla taşınmaktadır (Gattullo vd., 2019). Artırılmış gerçeklik genellikle sanal nesnelerin bir dizi görüntüye gerçekçi bir şekilde yerleştirilmesini mümkün kılan çeşitli yöntemleri belirtmektedir (El Hamdi ve Abouabdellah, 2022). Bu bağlamda bu teknoloji; yüklerin tanımlanmasında, rota optimizasyonunda, maliyetlerin ve hata oranlarının minimizasyonunda, kaynakların optimizasyonunda ve verimliliğin artırılmasında kullanılabilir (Yılmaz ve Duman, 2019).

Akıllı Lojistik ve WSN Teknolojisi: Nesneler hakkında gerçek zamanlı veriler ve çevresel değişim raporlarında güncellemeler sağlayan algı teknolojileri, lojistik süreçlerde devrim yaratabilecek yenilikçi çözümlerdir. Bu çözümler, lojistik süreçleri esnek, ölçeklenebilir ve akıllı hale getirmektedir (Douaioui vd., 2018). Sensör gibi algılama teknolojileri depodaki güvenliği ve şeffaflığı arttırmaktadır. Sensörler tüm çevresel şartları algılayabilmekte ve verileri iletebilmektedir (De Venuto ve Mezzina, 2018). Sensörler, deponun çevresel koşullarının (sıcaklık, ışık, hava, basınç, titreşim vb.) takibinde büyük önem taşımaktadır (Zhang vd., 2019). Bunların yanı sıra WSN (Wireless sensor Networks- Kablosuz Sensör Ağları) ile teslimat sırasında yük kayıpları ve araç durumları izlenebilmektedir. Sensörler ile araç hızı gibi bilgileri toplanabilmekte ve güvenli sürüş sağlanabilmektedir. Giyilebilir uyku algılama sensörü kullanılarak uykulu sürüş tespit edilebilmektedir (Kido ve Nakamura, 2016; Ding vd., 2020). IoT tabanlı WSN ve RFID teknolojilerinin kullanımı ile teslimatlarda ortamdaki çevre koşullarına dair veriler toplanabilmekte, izlenebilmekte ve takip sağlanarak malların güvenliği ve kalitesi garanti edilebilmektedir. Toplanan bu veriler (sıcaklık, nem, basınç vb.) personel ve müşteri ile paylaşılabilir ve taşıma sırasında takip ve güvenlik seviyesi artırılabilir. Soğuk zincir ve çabuk bozulabilen ürünlerin dağıtımında bu uygulama daha da büyük önem kazanmaktadır (Tsang vd., 2018; Trebar vd., 2015).

Akıllı Lojistik ve RFID Teknolojisi: Araçlara ve yüklere gömülebilir RFID etiketleri, tekil EPC (Electronic Product Code-Elektronik Ürün Kodu) ile nesnenin bilgilerini taşımaktadır. Bu teknoloji; yük ve araç bilgilerinin tanımlanmasında, izlenmesinde, yük durumu ve müşteri sipariş bilgilerinin toplanmasında ve takibinde kullanılabilir. Tüm bu veriler yol boyunca çeşitli teknolojilerin yardımı ile okunabilmekte ve sürecin takibi kolaylaşmaktadır. Bunların yanı sıra stok kalemlerinin kimliği, ağırlık ve hacim gibi bilgilerini de tanımlayabilmektedir (Zhang vd., 2014; Zhang vd., 2019; Liu vd., 2019). Bu etiketler; ürünlere, raflara, paletlere, depo zeminine vb. yapıştırılabilir ve forkliftlerde, kapılarda ve raflarda konumlandırılan RFID okuyucuları vasıtasıyla bilgiler toplanabilmektedir (Giusti vd., 2019; Zhou vd., 2017). Toplanan veriler makineler arası ağlara entegre edilebilmektedir. Bu bağlamda RFID teknolojisinin kullanımı ile kayıplar, hata oranları, hırsızlık ve yanlış teslimatlar azalmakta, envanter bilgileri doğru tutulabilmekte, bilgiler görselleştirilebilmekte, verimlilik artırılabilir ve depodaki varlıklar grafiksel olarak

konumlandırılabilir (Yan vd., 2014; Biswal vd., 2018; Fu vd., 2015). Akıllı depolamada RFID kullanılarak gerçek zamanlı veri toplama, envanter yönetimi, konum belirleme, ürün tanımlama ve takibi kolaylıkla sağlanabilmektedir. RFID özellikle iç mekân konumlandırmasında büyük önem taşımaktadır (Garrido-Hidalgo vd., 2019; Goudarzi vd., 2016).

Tüm bu bilgiler ışığında akıllı lojistik süreçlerde teknoloji kullanımı ve dijitalleşmeye bağlı olarak sağlanan avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir;

- ✓ Süreçteki tüm taraflar arasında tam entegrasyon, otomasyon ve uçtan uca iletişim,
- ✓ Şeffaflık ve izlenebilirlikte artış,
- ✓ Eş zamanlı veri paylaşımı,
- ✓ Maliyetlerde minimizasyon,
- ✓ Tüm süreçlerde hız ve verimlilik artışı,
- ✓ İnsan kaynaklı hataların minimizasyonu,
- ✓ Hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyetinde artış,
- ✓ Etkin veri analizleri ile müşteri taleplerinin doğru tespiti, müşteri deneyimlerini iyileştirme ve esneklikte artış,
- ✓ Kullanılan araç ve ekipmana tam zamanında koruyucu bakım sağlanması,
- ✓ Zamanında ve hasarsız teslimat oranlarında artış,
- ✓ Doğruluğu daha yüksek planlama ve tahmin,
- ✓ Optimum kaynak kullanımı ve israfların minimizasyonu,
- ✓ Çevresel sürdürülebilirliğe katkının artışı (Sutawijaya ve Nawangsari, 2020; Lee vd., 2016; Teucke vd., 2018).

Akıllı lojistik; küresel tedarik zincirinin karmaşıklığında yol almaya çalışanlar için önemli katma değerler sağlıyor olsa da bu teknolojilerin potansiyel faydalarından yararlanmak isteyen işletmeler için bazı engeller ve zorluklar içermektedir. Karlı ve Tanyaş, (2020)'e göre akıllı lojistiğin uygulanmasındaki problemlerin en önemlileri; firmaların siber güvenliklerinin sağlanmasına yönelik zorluklar, teknoloji seçiminde yaşanabilecek problemler, tüm bileşenler arasındaki entegrasyon zorlukları, sosyal engeller, hukuki düzenlemelerde ve standartlardaki eksiklerdir. Ding vd. (2021)'e göre WSN'lerdeki teknik sorunlar, sınırlı IoT uzantısı ve sınırlı teknik kapasitesi, standartizasyon eksikleri, teknik problemler, güvenlik ve gizlilik endişeleri çözülmesi gereken problemler olarak öne çıkmaktadır. Cimini vd. (2020)'e göre bu teknolojilerin kullanımında yaşanan zorluklar; (a) Birlikte çalışabilirlik (farklı cihazlar ve sistemler arasında etkili bir iletişim ve veri/bilgi alışverişini garanti etmede yaşanan problemler), (b) İnsanın rolü (insan-bilgisayar ve insan-makine ara yüzleri tasarlanmanın zorluğu), (c) Çalışan azaltma (otomasyon ve dijitalleşmeye bağlı insan işgücü sayısı kayıplarını önlemek için ilgili kişilere yeni beceri ve yetkinlikler kazandırma gerekliliği), (d) Ekonomik perspektif (büyük miktarda yatırım gerekliliği).

4. SONUÇ

2011 yılında ortaya konan Endüstri 4.0 konsepti üretim sektörünü başta olmak üzere tüm sektörleri derinden etkilemektedir. Bu çalışmanın temel amacı, akıllı lojistik kavramını araştırmak, Endüstri 4.0 ve ilgili teknolojilerin lojistik yönetimi üzerindeki etkilerini, yaratacağı fırsatları ve riskleri değerlendirmektir. Lojistik süreçlerin verimli ve etkin yönetiminde, yüksek karmaşıklık ve büyük miktarda kaliteli veri ihtiyacı gibi nedenlere bağlı olarak, güçlü bir teknolojik temele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda akıllı lojistik; yüklerin tedarik zincirinin nerelerinde depolanacağı, ne şekilde taşınacağı, nasıl dağıtılacağı konularında optimizasyonu sağlamak için yenilikçi teknolojik çözümlerden yararlanarak verimliliği ve etkinliği arttırmayı amaçlayan Endüstri 4.0 ile şekillenen bir konsepttir. Akıllı lojistik konseptinde özellikle IoT ve CPS'den faydalanılarak durum ve konumları bilinen, otonom kararlar alabilen akıllı nesnelere oluşan bir lojistik sistem oluşturulması amaçlanmaktadır. Şüphesizdir ki akıllı lojistik, karmaşıklığı sürekli artan lojistik ağların yönetiminde pek çok sorunun aşılmasında fayda sağlayacaktır. Bu bağlamda IoT, büyük veri analizi ve CPS gibi pek çok teknolojinin kullanıldığı merkezileştirilmiş operasyonlar ve yapay zekâ kullanılan süreçler etkinliği arttırmakta, hasar oranlarını ve işgücü maliyetlerini azaltmaktadır. Yeni teknolojilerin taşıdığı potansiyeller çevresel sürdürülebilirlik açısından da pek çok fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda akıllı lojistik gereksiz enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmada da etkili olacaktır. Yakın gelecekte lojistikte dijitalleşmenin artması ve yaygın olarak kullanılması kaçınılmaz görülmektedir. Bu beklenti ve gelişmeler doğrultusunda lojistiğin temel bileşenlerinin akıllılaştırılmasına yönelik yatırımlar ve uygulamalar tüm ülkeler açısından öncelikli sırada yer almalıdır. Tüm bu beklentiler ışığında gerek ülkeler gerek ise işletmeler ilgili teknolojik altyapılara ve yüksek derecede dijitalleşmeye yönelik yatırımlarını ve teşviklerini arttırmalı, organizasyonel,

operasyonel ve yasal süreçlerini ve politikalarını beklenen gelişmeler doğrultusunda ivedilikle hazırlamalı, insan kaynaklarına gerekli bilgi ve becerileri kazandırmalıdır. Lojistik yönetimi bağlamında tüm bileşenlerin entegrasyonu ve koordineli çalışması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda sektörü oluşturan tüm organizasyonların bu sürece eşzamanlı hazır olmaları sürecin verimliliği ve etkinliğini doğrudan etkileyecektir. Ciddi yatırımlar gerektiren bu hazırlık ve uygulamaların sağlayacağı avantajlara yönelik farkındalığın artması tüm bileşenlerin adaptasyon niyetlerini kuvvetlendirecektir. Bunların yanı sıra pek çok sistemin birlikte çalışabilirliğini ve entegrasyonunu sağlamak ve üst seviyede performans elde etmek kolay değildir. Bu zorlukların kolaylıkla aşılabılmesine yönelik test ve pilot uygulamalarının artırılması kritik noktalardan biridir. Ayrıca ilgili süreçte gizlilik, güvenlik ve insanların rollerine yönelik endişeleri ortadan kaldıracak düzenlemeler de büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Alnıpak, S. (2022). Tedarik Zinciri Yönetimi Perspektifinden Liman Yönetimi Akademik Literatür, Güncel ve Temel Konular, Uygulamalar. Nobel Akademik Yayıncılık, 1. Bs, XIV + 98 s, Ekim 2022, Ankara. ISBN: 978-625-433-745-1.
- Alnıpak, S.ve Dördüncü, H. (2021). Tedarik Zincirlerine Entegre Limanlarda Yeni Teknolojiler: Endüstri 4.0'ın Etkileri. *Social Sciences Studies Journal*, 7(91), 5137-5144.
- AlShaer, M., Taher, Y., Haque, R. Hacid, M.S. and Dbouk, M. (2019). IBRIDIA: A Hybrid Solution for Processing Big Logistics Data. *Future Generation Computer Systems*, 97,792–804.
- Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks*, 54 (15), 2787–2805
- Aylak, B. L., Kayıkcı, Y. ve Taş, M. A. (2020). Türkiye’de Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Dijital Trendlerinin İncelenmesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15 (57), 98-116.
- Azarian, M., Yu, H., Solvang, W.D. and Shu, B. (2020). An Introduction of the Role of Virtual Technologies and Digital Twin in Industry 4.0. In *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation; Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer: Singapore, Volume 634.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G. and Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *Int. J. Prod. Econ.*, 229, 107776.
- Bamberg, B., Johann, A. and Waldow, P. (2012). Energy Efficiency in Logistics – SmartKanban as an Intelligent Intra-logistics Architecture for Kanban Scenarios. *Information Technology* 54 (1), 34-41.
- Barreto, L., Amaral, A. and Pereira, T., (2017). Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252
- Bauer, W., Schlund, S., Hornung, T. and Schuler, S. (2018). Digitalization of Industrial Value Chains—A Review and Evaluation of Existing Use Cases of Industry 4.0 in Germany. *Logforum*, 14, 331–340.
- Biswal, A. K., Jenamani, M. and Kumar, S.K. (2018). Warehouse Efficiency Improvement Using RFID in a Humanitarian Supply Chain: Implications for Indian Food Security System. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 109, 205–224.
- Botta, A., W. de Donato, Persico, V. and Pescapé, A. (2016). Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A Survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684–700.
- Busse, C., Schleper, M.C., Weilenmann, J. and Wagner, S.M. (2017). Extending the supply chain visibility boundary. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 47(1), 18-40.
- Cagliano, A. C., De Marco, A. and Rafele, C. (2017). E-Grocery Supply Chain Management Enabled by Mobile Tool. *Business Process Management Journal*, 23(1), 47–70.
- Chu, H., Zhang, W., Bai, P. and Chen, Y. (2021). Data-driven optimization for last-mile delivery. *Complex & Intelligent Systems*, 107, 1–14.
- Chung, S-H. (2021). Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 153, 102455.
- Cimini, C., Lagorio, A., Romero, D., Cavalieri, S. and Stahre, J. (2020). Smart Logistics and The Logistics Operator 4.0. *IFAC PapersOnLine* 53-2, 10615–10620.

- De Venuto, D. and Mezzina, G. (2018). Spatio-Temporal Optimization of Perishable Goods' Shelf Life by a pro-Active WSN-Based Architecture. *Sensors*, 18(7), 2126.
- Demiralay D.Y. ve Kara, Y. (2022). Akıllı Lojistik. Emel Gelmez (ed.), *Lojistikte Güncel Yaklaşımlar*, Nobel Akademik Yayıncılık, 1. Bs, XII + 294 s, Aralık 2022, Ankara. ISBN: 978-625-433-986-8.
- Demirezen, B. (2019). Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Turizm Sektöründe Kullanılabilirliği Üzerine Bir Literatür Taraması. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 1-26.
- DHL (2023). "The Logistics Trend Radar 6.0", <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/insights/logistics-trend-radar.html>. (Erişim Tarihi: 20.04.2023).
- Ding, Y., Jin, M., Li, S. and Feng, D. (2021). Smart Logistics Based On The İnternet Of Things Technology: An Overview. *International Journal of Logistics Research and Applications* 24(9), 1-23.
- Diniz, F., Duarte, N., Amaral, A. and Pereira, C. (2022). Industry 4.0: Individual Perceptions About Its Nine Technologies. In *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*; Springer: Cham, Switzerland, 257–267.
- Douaioui, K., Mouhsene, F., Mabrouk, C. and Semma, E. (2018). The interaction between industry 4.0 and smart logistics: concepts and perspectives. *International Conference on Logistics (LOGISTIQUA)*, 26-27 April 2018, 128-132.
- Dönmez, E., Okumuş, F. ve Kocamaz, A.F. (2021). Adaptive Operation Model For Interior Smart Logistics In Cyber Physical Systems. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi.*, 9(4), 965-980.
- El Hamdi, S. and Abouabdellah, A. (2022). Logistics: Impact of Industry 4.0. *Applied Sciences.*, 12, 4209.
- Feng, X., Yang, L.T., Wang, L. and Vinel, A. (2012). Internet of Things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9), 1101–1102.
- Fu, H., Chang, T. H., Lin, A., Du, Z. J. and Hsu, K. Y. (2015). Key Factors for the Adoption of RFID in the Logistics Industry in Taiwan. *International Journal of Logistics Management*, 26 (1), 61–81.
- Garrido-Hidalgo, C., Olivares, T., Ramirez, F. J. and Roda-Sanchez, L. (2019). An end-to-end Internet of Things Solution for Reverse Supply Chain Management in Industry 4.0. *Computers in Industry*, 112, 103127.
- Gattullo, M., Scurati, G.W., Fiorentino, M., Uva, A.E., Ferrise, F. and Bordegoni, M. (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 56, 276–286.
- Giusti, I., Cepolina, E. M., Cangialosi, E., Aquaro, D., Caroti, G. and Piemonte, A. (2019). Mitigation of Human Error Consequences in General Cargo Handler Logistics: Impact of RFID Implementation. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106038.
- Goudarzi, P., Malazi, H. T. and Ahmadi, M. (2016). Khorramshahr: A Scalable Peer to Peer Architecture for Port Warehouse Management System. *Journal of Network and Computer Applications*, 76, 49–59.
- Gönçer Demiral, D. (2021). Endüstri 4.0'ın Lojistik Boyutu: Lojistik 4.0. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (9), 231-251.
- Graetz, G. and Michaels, G. (2018). Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768.
- Gutierrez-Franco, E., Mejia-Argueta, C. and Rabelo, L. (2021). Data-Driven Methodology to Support Long-Lasting Logistics and Decision Making for Urban Last-Mile Operations. *Sustainability*, 13, 6230.
- Haenlein, M. and Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5–14.
- Issaoui, Y., Khiat, A., Bahnasse, A. and Ouajji, H. (2020). Toward Smart Logistics: Engineering Insights and Emerging Trends. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28, 3183–3210.
- Jafari, N., Azarian, M. and Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics? *Logistics*, 6(2), 26.
- Kagermann, H. and Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group; Forschungsunion: Frankfurt, Germany.

- Kamalahmadi, M. and Parast, M.M. (2016). A review of the literature on the principles of enterprise and supply chain resilience: major findings and directions for future research. *International Journal of Production Economics*, 171,116-133
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A. and Gawankar, S.A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Saf. Environ. Prot.*, 117, 408–425.
- Karlı, H. ve Tanyaş, M. (2020). Lojistik Yönetiminin Dijital Dönüşümü: Akıllı Lojistik Üzerine Sistematik Literatür Haritalaması. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 7(2), 613-632.
- Kayıkçı, Y. (2022)."Akıllı Lojistik". <https://www.auszirvesi.org/wp-content/uploads/2022/05/Doç.-Dr.-Yaşanur-KAYIKCI-Akilli-Lojistik.pdf>. (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2023).
- Kido, T. and Nakamura, M. (2016). New SaaS-Based Operations Management System to Realize Safe Driving Support and Improve Transport Quality: Logifit TM-NexTR. *Fujitsu Scientific and Technical Journal*, 52 (4), 92–97.
- Kim, J.H. (2017). A review of cyber-physical system research relevant to the emerging IT trends: industry 4.0, IoT, big data, and cloud computing. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(3), 1750011.
- Klee, H. And Allen, R. (2018). *Simulation of Dynamic Systems with MATLAB and Simulink*. 3rd ed.; Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Lecun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G. (2015). Deep Learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Lee, C., Lv, K.M., Y., Ng, K. K. H., Ho, W. and Choy, K. L. (2018). Design and Application of Internet of Things-based Warehouse Management System for Smart Logistics. *International Journal of Production Research*, 56 (8), 2753– 2768.
- Lee, I. and Lee, K. (2015). The internet of things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Lee, S., Kang, Y. and Prabhu, V.V. (2016). Smart logistics: distributed control of green crowdsourced parcel services. *International Journal of Production Research*, 54 (23), 6956-6968.
- Li, N. and Yao, W. (2021). Research on Visual Logistics Big Data Information Service System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1820, 012164.
- Liang, X. (2021). Transportation Carbon Emissions Account for 10% of the total, and China Proposes to Advance the Development of Intelligent Transportation. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1702088083201152688&wfr=spider&for=pc>. (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2023).
- Liu, S., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, L. and Wang, X.V. (2019). An ‘Internet of Things’ Enabled Dynamic Optimization Method for Smart Vehicles and Logistics Tasks. *Journal of Cleaner Production*, 215, 806–820.
- Liu, W., Shanthikumar, J.G., Lee, P.T.W., Li, X. and Zhou, L. (2021). Special Issue Editorial: Smart Supply Chains and Intelligent Logistics Services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 147, 102256.
- Mcfarlane, D., Giannikas, V. and Lu, W. (2016). Intelligent Logistics: Involving the Customer. *Computers in Industry*, 81, 105–115.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. and Chlamtac, I. (2012). Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497–1516.
- Montreuil, B., R. D. Meller, and E. Ballot. (2013). *Physical Internet Foundations In Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics*. Edited by Theodor Borangiu, Andre Thomas, and Damien Trentesaux, 151–166. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Müller, J.M. and Voigt, K.I. (2018). The Impact of Industry 4.0 on Supply Chains in Engineer-to-Order Industries – An Exploratory Case Study. *IFAC-PapersOnLine*, 5111, 122-127.

- Pan, X., Li, M., Wang, M., Zong, T and Song, M. (2020). The Effects of a Smart Logistics Policy on Carbon Emissions in China: A Difference-in-difference Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 137, 101939.
- Pfohl, H.C., Yahsi, B. ve Kurnaz, T. (2016). The impact of industry supply chain. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics*.
- Popper, N. (2015). *Digital Gold*. First Edition. ISBN: 978-0-06-236249-0 Epub Edition, ISBN 9780062362513.
- Qin, J., Liu, Y. and Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178.
- Radivojevic, G. and Milosavljevic, L. (2019). The Concept of Logistics 4.0. 4th Logistics International Conference, Belgrade, 23-25 May, 2019.
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B. and Roccotelli, M. (2018). A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*, 10(3), 782.
- Richnák, P. (2022). Current Trend of Industry 4.0 in Logistics and Transformation of Logistics Processes Using Digital Technologies: An Empirical Study in the Slovak Republic. *Logistics*, 6(79),1-21.
- Ruan, J. and Shi, Y. (2016). Monitoring and Assessing Fruit Freshness in IOT-based E-commerce Delivery Using Scenario Analysis and Interval Number Approaches. *Information Sciences*, 373, 557–570
- Sharma, V., You, I., Pau, G., Collotta, M., Lim, J.D. and Kim, J.N. (2018). LoRaWAN-Based Energy-Efficient Surveillance by Drones for Intelligent Transportation Systems. *Energies*, 11(3), 573.
- Shee, H.K., Miah, S.J. and De Vass, T. (2021). Impact of smart logistics on smart city sustainable performance: an empirical investigation. *The International Journal of Logistics Management*, 32(3), 821-845.
- Sigov, A., Ratkin, L., Ivanov, L.A. and Xu, L.D. (2022). Emerging Enabling Technologies for Industry 4.0 and Beyond. *Information Systems Frontiers*, 24, 1–11.
- Sorooshian S, Khademi Sharifabad S, Parsaee M. and Afshari A.R. (2022). Toward a Modern Last-Mile Delivery: Consequences and Obstacles of Intelligent Technology. *Applied System Innovation*, 5(4), 82.
- Sternberg, H., Hagen, A., Paganelli, P. and Lumsden, K. (2010). Intelligent Cargo-enabling Future's Sustainable and Accountable Transportation System. *World Journal of Science Technology & Sustainable Development* 7(3), 253–262.
- Strandhagen, J.W., Alfnes, E., Strandhagen, J.O. and 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.
- Sutawijaya, A. H. and Nawangsari, L. C. (2020). What is the impact of industry 4.0 to green supply chain? *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(1), 207–213.
- Şekerci, C. (2017). Sanal Gerçeklik Kavramının Tarihiçesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(54), 1126-1134.
- Tang, X. (2020). Research on Smart Logistics Model Based on Internet of Things Technology. *IEEE Access*, 8, 151150-151159.
- Tanga, C. S. ve Veelenturf, L.P. (2019). The Strategic Role of Logistics in the Industry 4.0 Era. *Transportation Research Part E*, 1-11.
- Taş, A. ve Alagöz, S.B. (2021). Lojistik Sektörü Özelinde Endüstri 4.0 Farkındalık Düzeyleri Üzerine Bir Araştırma. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 23(41), 404-417.
- Tekin, M., Öztürk, D. ve Bahar, İ. (2020). Akıllı Lojistik Faaliyetlerinde Blokzincir Teknolojisi. *Kent Akademisi*, 13(3), 570-583.
- Teucke, M., Broda, E., Börold, A. and Freitag, M. (2018). Using sensor-based quality data in automotive supply chains. *Machines*, 6(4), 1–22.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E. and Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182.

- Toufaily, E., Zalan, T. ve Ben Dhaou, S. (2021). A framework of blockchain technology adoption: An investigation of challenges and expected value. *Information & Management*, 58(3), 31-17.
- Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Thomas, A., Abdelkrim, M.N., Chekir, H. and Ltaief, R.H. (2017). A Communicating Object's Approach for Smart Logistics and Safety Issues in Warehouses. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 25(1), 53–67.
- Trebar, M., Lotrič, M. and Fonda, I. (2015). Use of RFID Temperature Monitoring to Test and Improve Fish Packing Methods in Styrofoam Boxes. *Journal of Food Engineering*, 159, 66–75.
- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T. S., Lam, H. Y. and Tang, V. (2018). An Intelligent Model for Assuring Food Quality in Managing a Multi-Temperature Food Distribution Centre. *Food Control*, 90, 81–97.
- Turğut, M. ve Şeker, B. (2022). İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Taşımacılıkta Kullanımına Yönelik Keşfedici Bir Araştırma: Drone Taşımacılığı ve Uygulamaları. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 169-187.
- Wang, F., Wang, F., Ma, X. and Liu, J. (2019). Demystifying the Crowd Intelligence in Last Mile Parcel Delivery for Smart Cities. *IEEE Network*, 33(2), 23–29.
- Wang, J. (2018). The Development Path of Smart Logistics from Digital to Intelligent. *Maritime China* (6), 36-39.
- Wang, K. (2016). *Logistics 4.0 Solution-New Challenges and Opportunities*. 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation. Atlantis Press: Manchester, UK.
- Wang, M. (2011). Smart Logistics Focuses on Wisdom. *China Logistics Times*, 11, 13.
- Wei, J. (2019). The Status quo, Problems and Trends of China's Logistics Industry Development. *Journal of Beijing Jiaotong University (Social Science Edition)* (1), 4-6.
- Wenwen, J. (2022). Developing Smart Logistics for Sustainable Transport. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, https://transition-china.org/wp-content/uploads/2022/06/20220624_Developing-Smart-Logistics-for-Sustainable-Transport-2.pdf. (Erişim Tarihi: 11.04.2023).
- Windt, K. and Hülsmann, M. (2007). Changing Paradigms in Logistics—Understanding the Shift from Conventional Control to Autonomous Cooperation and Control. In *Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics: The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow*. Edited by Michael Hülsmann, and Katja Windt, 1–16. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. and Wang, L. (2021). ‘‘Industry 4.0 and Industry 5.0 Inception, conception and perception’’. *J. Manuf. Syst.*, 61, 530–535.
- Yan, J., Xin, S., Liu, Q., Xu, W., Yang, L., Fan, L., Chen, B. and Wang, Q. (2014). Intelligent Supply Chain Integration and Management Based on Cloud of Things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3), 1–15.
- Yang, J. (2021). Application Analysis of Internet of Things technology in Smart Logistics. *China Logistics and Purchasing*, 8, 47-48.
- Yang, M.H., Luo, J.N. and Lu, S.Y. (2015). A Novel Multilayered RFID Tagged Cargo Integrity Assurance Scheme. *Sensors*, 15(10), 27087–27115.
- Yılmaz, Ü. ve Duman, B. (2019). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Lojistik Faaliyetleri Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. *Uluslararası İnsan Çalışmaları Dergisi*, 2(3), 1-7.
- Yu, J., Subramanian, N., Ning, K. and Edwards, D. (2015). Product Delivery Service Provider Selection and Customer Satisfaction in the Era of Internet of Things: A Chinese e-Retailers' Perspective. *International Journal of Production Economics*, 159, 104–116.
- Yuan, Y., Yu M. and Liu, J. (2018). Research Prospects of Smart Logistics from the Perspective of Artificial Intelligence. *China Internet*, 6, 34-38.

- Zarzuelo, I.P., Soeane, M.J.F. and Bermúdez, B.L. (2020). Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100173.
- Zhang, R., Lu, J. C. and Wang, D. (2014). Container Drayage Problem with Flexible Orders and its Near Real-time Solution Strategies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 235–251.
- Zhang, Y., Wang, W., Yan, L., Glamuzina, B. and Zhang, X. (2019). Development and Evaluation of an Intelligent Traceability System for Waterless Live Fish Transportation. *Food Control* 95, 283–297.
- Zheng, Z, Xie, S., Dai, H.N., Chen, X. and Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.
- Zhou, Y. C., Dong, Y.F., Xia, H. M. and Gu, J.H. (2014). Routing Optimization of Intelligent Vehicle in Automated Warehouse. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014, 1–14.
- Zhou, W., Piramuthu, S., Chu, F. and Chu, C. (2017). RFID-enabled Flexible Warehousing. *Decision Support Systems*, 98, 99–112