

E-Ticarette Dijital Dönüşüm: Yapay Zekâ Destekli Lojistik Modellerinin Geleceği

Emine GENÇ¹, Heves GENÇ²

Özet

E-ticaret sektöründe dijital dönüşüm süreci, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde yapay zekâ ve büyük veri analitiği kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışma, yapay zekâ destekli lojistik modellerinin e-ticaret sektöründeki uygulamalarını ve sağladığı avantajları literatür taraması ile incelemektedir. Yapılan araştırmada, yapay zekâ teknolojilerinin talep tahminleme, stok yönetimi, rota optimizasyonu, akıllı depo sistemleri, drone ve otonom araçlarla teslimat gibi birçok lojistik süreci optimize ettiği ve maliyetleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, müşteri memnuniyetini artırmada akıllı dolaplar gibi alternatif teslimat çözümlerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin yüksek yatırım maliyetleri, veri güvenliği riskleri, yasal regülasyonlar ve işgücü üzerindeki olumsuz etkileri gibi bazı zorluklar da bulunmaktadır. Sonuç olarak, e-ticaret sektöründeki işletmelerin dijital dönüşüm stratejilerini geliştirerek, yapay zekâ teknolojilerini proaktif bir şekilde benimsemesi ve bu süreçte karşılaşılabilecekleri zorlukları aşmaya yönelik adımlar atması gerektiği önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: E-ticaret, yapay zekâ, dijital dönüşüm, lojistik yönetimi, son mil teslimat.

Jel Kodu: L81, O33, R41

Digital Transformation in E-Commerce: The Future of Artificial Intelligence-Supported Logistics Models

Abstract

The digital transformation process in the e-commerce industry has made the use of artificial intelligence (AI) and big data analytics essential in logistics and supply chain management. This study examines applications and benefits of AI-supported logistics models in e-commerce through a comprehensive literature review. The findings indicate that AI technologies significantly optimize logistics processes such as demand forecasting, inventory management, route optimization, intelligent warehouse systems, and deliveries using drones and autonomous vehicles, thereby reducing operational costs. Additionally, alternative delivery solutions like smart lockers have been identified as effective in enhancing customer satisfaction. Despite these benefits, the implementation of AI-driven logistics faces challenges such as high initial investment costs, data security risks, regulatory barriers, and adverse impacts on the workforce. Consequently, it is recommended that e-commerce businesses proactively embrace AI technologies by developing robust digital transformation strategies and taking measures to address potential implementation challenges.

Keywords: E-commerce, artificial intelligence, digital transformation, logistics management, last mile delivery.

Jel Codes: L81, O33, R41

ATIF ÖNERİSİ (APA): Genç, E., Genç, H. (2025). E-Ticarette Dijital Dönüşüm: Yapay Zekâ Destekli Lojistik Modellerinin Geleceği, *İzmir Yönetim Dergisi*, 6 (Özel Sayı), 88-107. Doi: 10.56203/iyd.1658714

¹Doç. Dr., Bartın Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Merkez/BARTIN, **EMAIL:** egenc@bartin.edu.tr, **ORCID:** 0000-0003-1178-6929

² Bartın Üniversitesi, Merkez/BARTIN, **EMAIL:** heves22@hotmail.com, **ORCID:** 0009-0000-2783-2585

1. GİRİŞ

Dijitalleşme; süreçlerin, iş modellerinin ve operasyonların dijital teknolojiler yardımıyla dönüştürülmesini ifade etmektedir. Verilerin dijital ortamda toplanması, analizi ve kullanımına dayalı bu dönüşüm, sistemlerin daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Dijital dönüşüm, işletmeler için rekabet avantajı sağlamak, karar alma süreçlerini iyileştirmek ve müşteri taleplerine daha hızlı ve doğru yanıt vermek açısından büyük önem taşımaktadır (Büyüközkan ve Göçer, 2018; Bharadwaj, El Sawy, Pavlou ve Venkatraman, 2013). Dijitalleşme, Endüstri 4.0'ın temel yapı taşlarından biri olup, endüstriyel süreçlerin daha akıllı, bağlantılı ve verimli hale gelmesine olanak tanımaktadır.

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi, Almanya tarafından ortaya konulan stratejik bir girişim olup, üretim teknolojilerini siber-fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI) ve bulut bilişim teknolojileriyle entegre ederek akıllı üretim sistemlerinin ve fabrikaların oluşturulmasını hedeflemektedir (Zhong, Xu, Klotz ve Newman, 2017). Endüstri 4.0 yaklaşımı, fiziksel süreçlerin dijital izlenmesini mümkün kılarak üretim sistemlerinin daha verimli, sürdürülebilir ve müşteri odaklı hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Bu süreç, iş modellerinde ve değer zincirlerinde kapsamlı değişimlere neden olmakta ve endüstriyel sistemlerin daha dinamik ve esnek hale gelmesini desteklemektedir (Hofmann ve Rüsch, 2017; Witkowski, 2017). Lojistik, Endüstri 4.0'ın en uygun uygulama alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Siber-fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay Zekâ gibi teknolojilerin lojistik süreçlere entegrasyonu, malzeme akışlarının gerçek zamanlı izlenmesini, taşıma ve elleçleme süreçlerinin optimize edilmesini ve risk yönetiminin etkinleştirilmesini sağlamaktadır. Bu yenilikler, lojistik yönetiminin daha esnek, verimli ve öngörülebilir hale gelmesine katkıda

bulunmaktadır. Endüstri 4.0'ın tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi için lojistiğin, üretim sistemlerine doğru zamanda, doğru kalite ve doğru miktarda girdi sağlaması kritik bir gerekliliktir. Bu bağlamda, akıllı lojistik sistemleri ve dijital tedarik zinciri uygulamaları, üretim süreçleri ile tam entegrasyonu sağlayarak Endüstri 4.0'ın vaat ettiği verimlilik ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kilit bir rol oynamaktadır (Hofman ve Rüsch, 2017).

Dijital dönüşümün etkisiyle lojistik süreçler özellikle e-ticaret sektöründe büyük bir önem kazanmıştır. Hızla büyüyen ve rekabetin yoğun olduğu e-ticaret sektöründe lojistik, firmaların müşteri memnuniyetini artırmak ve maliyetleri düşürmek için odaklandığı temel süreçlerin başında gelmektedir (Mangiaracina et al., 2019). Günümüz tüketicileri daha geniş ürün yelpazesi, yüksek erişilebilirlik, kısa teslimat süreleri ve esnek iade seçenekleri gibi beklentilere sahip olduğundan, işletmelerin bu talepleri karşılayabilmesi için dijital ve yapay zekâ tabanlı çözümleri benimsemeleri zorunlu hale gelmiştir (Lim, Jin ve Srai, 2018; Chandna ve Salimath, 2018). Günümüzde dijital dönüşüm, tedarik zinciri süreçlerini köklü bir şekilde değiştirmekte ve fiziksel altyapının yerini veri tabanlı sistemler almaktadır. Geleneksel depolama alanları yerine veri merkezleri kullanılmakta, fiziksel ürünler yerine dijital içerikler ön plana çıkmakta ve lojistik taşımacılığın yerini yüksek bant genişliği ile sağlanan veri akışı almaktadır.

Kanal yönetimi açısından bakıldığında, dağıtım süreçleri geleneksel perakende modellerinden geniş bant hizmet sağlayıcıları, çevrimiçi platformlar ve doğrudan tüketiciye yönelik dijital çözümlere doğru kaymaktadır. Dijital tedarik zinciri (DSC) kapsamında, Artırılmış Gerçeklik (AR), Büyük Veri (BD), Bulut Bilişim (CC), Robotik (R), Sensör Teknolojisi (ST), Omni Kanal (OC), Nesnelerin İnterneti (IoT), Otonom Araçlar (SDV), İnsansız Hava Araçları (UAV), Nanoteknoloji (N) ve 3D Baskı (3DP) gibi yenilikçi teknolojiler giderek daha fazla entegre edilmektedir. Bu teknolojiler, tedarik

zinciri yönetiminde hız, esneklik ve verimliliği artırarak işletmelere stratejik avantaj sağlamaktadır (Büyüközkan ve Göçer, 2018).

Dijitalleşme, firmalara operasyonel esneklik, şeffaflık ve maliyet tasarrufu sağlarken, rekabet gücünü artırma fırsatı sunmaktadır. Günümüz rekabet ortamında, işletmelerin temel yetkinliklerini koruyarak güçlendirebilmesi için üretim ve dağıtım süreçlerinde tedarikçiler ve bayilerle entegre bir yapı oluşturması gerekmektedir. Bu bağlamda, dijitalleşme lojistik süreçlerinin daha sürdürülebilir ve etkin hale gelmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ tabanlı lojistik modelleri, operasyonel süreçleri hızlandırmak, lojistik maliyetlerini azaltmak ve müşteri memnuniyetini artırmak için etkili bir araç olarak görülmektedir (Ivanov, Dolgui ve Sokolov, 2019). Özellikle talep tahminleme, stok yönetimi, rota optimizasyonu ve teslimat süreçlerinde dronlar ile otonom araçların kullanımı, lojistik süreçleri daha verimli hale getiren temel uygulamalar arasındadır (Murray ve Chu, 2015; Ranieri, Digiesi, Silvestri ve Roccotelli, 2018).

Bu çalışmada, e-ticaret sektöründe dijital dönüşümün lojistik süreçlere etkisi ve yapay zekâ destekli lojistik modellerinin geleceği ele alınmıştır. Bu bağlamda çalışma, e-ticaret lojistiğinde yapay zekâ destekli lojistik modellerini ve büyük veri uygulamalarını kapsamlı bir literatür taraması yoluyla inceleyerek, bu uygulamaların sektörde yarattığı dönüşümü, sağladığı avantajları ve karşılaşılan zorlukları analiz etmektedir. Ayrıca, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde yapay zekâ tabanlı lojistik çözümlerinin gelecekteki gelişim potansiyelleri tartışılarak ve sektör için stratejik öneriler sunulmuştur. Bu bağlamda çalışma, dijital dönüşüm sürecinde yapay zekanın e-ticaret lojistiğine nasıl entegre edildiğini anlamak ve geleceğe yönelik stratejik çıkarımlar yapmak açısından önemli bir katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE E-TİCARET LOJİSTİĞİ

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi, endüstriyel süreçleri iyileştirmek ve verimliliği artırmak amacıyla dijitalleşmeye dayanan bir dönüşüm sürecidir. Bu kavram, akıllı ve otonom sistemlerin entegrasyonu için iletişim teknolojileri, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zeka gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımını içermektedir (Witkowski, 2017). Endüstri 4.0, yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda insanların yaşam, iş yapma ve tüketim biçimlerini de köklü şekilde değiştirmektedir (Alcácer ve Cruz-Machado, 2019). Bu dönüşüm, işletmelerin üretkenliklerini artırmalarına, operasyonel maliyetlerini düşürmelerine ve kârlılıklarını yükseltmelerine katkıda bulunmaktadır (Kostrzewski vd., 2022). Aynı zamanda Endüstri 4.0, küresel rekabet avantajı sağlayarak firmaların dinamik piyasa koşullarına daha hızlı uyum sağlamalarına olanak tanımaktadır (Bal ve Erkan, 2019). Gerçek zamanlı veri analizi, şeffaflık ve görünürlüğü artırılması, süreçlerin daha etkin izlenmesini sağlamaktadır.

Endüstri 4.0'ın sunduğu yenilikler arasında 3D baskı teknolojileri, üretim süreçlerinde dijital ikizlerin kullanımı ve işgücünün daha esnek hale gelmesi yer almaktadır (Pacchini vd., 2019; Enrique vd., 2021). Otonom robotlar, yapay zeka destekli üretim sistemleri ve sensör bazlı otomasyon çözümleri, sanayi süreçlerini daha esnek ve düşük maliyetli hale getirerek endüstriyel işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmelerine katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda Endüstri 4.0, sadece üretim sistemlerinde değil, aynı zamanda tedarik zinciri yönetimi, lojistik süreçleri ve iş modellerinde de köklü dönüşümler sağlamaktadır. Gelişmiş veri analitiği, otomasyon ve yapay zeka destekli karar alma mekanizmaları, işletmelerin daha etkin ve hızlı kararlar almasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, Endüstri 4.0, sanayi ekosistemini daha bağlantılı, akıllı ve

sürdürülebilir bir yapıya dönüştürerek geleceğin üretim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır.

Dijital teknolojiler, bireylerin çevreleriyle etkileşim kurma ve iletişim biçimlerini köklü bir şekilde dönüştürmüştür. Mobil cihazlar, kişisel bilgisayarlar, sürücüsüz araçlar, insansız hava araçları (dronlar), gelişmiş televizyon sistemleri, giyilebilir teknolojiler, akıllı telefonlar ve akıllı saatler gibi yenilikçi dijital araçlar, bilgiye erişim ve bilgi paylaşımı süreçlerini derinlemesine değiştirmektedir. Bu teknolojik ilerlemeler, tüm sektörleri etkilediği gibi, tedarik zinciri ve lojistik yönetimi alanında da önemli dönüşümlere yol açmıştır (Büyüközkan ve Göçer, 2018).

E-ticaret, dijital teknolojiler ve internet altyapısı aracılığıyla mal ve hizmetlerin çevrimiçi platformlar üzerinden alım ve satımını ifade etmektedir (Laudon ve Traver, 2021). Geleneksel ticaret modellerinden farklı olarak, e-ticaret işletmelere küresel pazarlara erişim imkânı sunarken, tüketicilere de zaman ve mekandan bağımsız alışveriş yapma kolaylığı sağlamaktadır. Bu süreç, dijital ödeme sistemleri, online pazarlama stratejileri, veri analitiği ve akıllı lojistik çözümleri ile entegre çalışarak müşteri memnuniyetini artırmaya yönelik yenilikçi uygulamalar geliştirilmesini teşvik etmektedir (Turban vd., 2018).

Dijital teknolojilerin gelişimi ile birlikte lojistik süreçlerin otomasyonu, büyük veri analitiği ve yapay zeka destekli karar alma mekanizmaları yaygınlaşmıştır (Christopher, 2016). Bu dönüşüm, firmaların rekabet avantajı elde etmelerini sağlarken müşteri deneyimini iyileştiren yenilikçi uygulamaların geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Geleneksel tedarik zincirleri, tedarikçiler ve müşteriler arasındaki mal ve hizmet akışını planlayan, koordine eden ve kontrol eden, coğrafi olarak dağılmış fiziksel tesislerden oluşmaktadır (Wang, Gunasekaran, Ngai ve Papadopoulos, 2016). Ancak, bu sistemlerin büyük bir bölümü hâlâ mevcut organizasyonel yapılar içinde bağımsız olarak

yürütülmektedir. Tedarik zincirleri, ulaşım bağlantılarının oluşturulması ve sürdürülebilir kılınması açısından fiziksel altyapıya bağımlıdır. Bununla birlikte, geleneksel yapılar, teknolojik gelişmelerin hızına ayak uydurmakta zorlanmakta ve kendi kendine yeterliliklerini büyük ölçüde yitirmektedir.

Dijitalleşme, tedarik zinciri yönetimini köklü şekilde değiştirerek süreçlerin daha verimli, esnek ve şeffaf hale gelmesini sağlamaktadır (Sternberg ve Andersson, 2014). Büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka ve blokzincir teknolojileri gibi yenilikçi dijital çözümler, tedarik zinciri süreçlerini daha entegre ve proaktif bir yapıya dönüştürmektedir. Bu bağlamda, dijital teknolojilerin yükselişi, lojistik operasyonlarının optimize edilmesine ve küresel ölçekte tedarik zincirlerinin daha etkin yönetilmesine yönelik yeni fırsatlar sunmaktadır (Büyüközkan ve Göçer, 2018).

Son yıllarda artan rekabet ve uzmanlaşma, işletmelerin lojistik süreçlerini daha verimli hale getirme gerekliliğini ortaya koymaktadır. E-ticaretin hızlı gelişimiyle birlikte birçok şirket, lojistik operasyonlarını daha etkin yönetebilmek için dış kaynak kullanımına yönelmektedir. Bu eğilim, lojistik sektörünün büyüme hızını önemli ölçüde artırarak hem firmalar hem de ekonomik sistemler üzerinde büyük bir etki yaratmaktadır. Lojistik sektörünün hızlı gelişimi, yalnızca mal teslimat sürelerini ve sermaye akışını hızlandırmakla kalmayıp, aynı zamanda tedarik zincirlerinde dolaşım hızını artırarak ekonomik büyümeye de katkı sağlamaktadır. Dijital teknolojilerin entegrasyonu sayesinde, akıllı lojistik çözümleri, gerçek zamanlı izleme ve rota optimizasyonu gibi yenilikçi uygulamalarla sektörde verimliliği artırmaktadır (Gu ve Dong, 2016). Bu hızlı büyümenin sürdürülebilir olmasını sağlamak amacıyla, birçok ülke lojistik altyapısını güçlendirmek için çeşitli teşvik politikaları ve düzenlemeler geliştirmektedir. Kamu ve özel sektör iş birliği ile geliştirilen bu politikalar, lojistik ekosisteminin daha entegre hale gelmesine ve

küresel rekabet gücünün artmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, lojistik sektörü, yalnızca işletmelerin operasyonel verimliliğini artıran bir alan olmaktan çıkıp, ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınma açısından stratejik bir sektör haline gelmektedir.

E-ticaret lojistiği, müşteri taleplerine hızlı yanıt verme, envanter yönetimini optimize etme ve teslimat süreçlerini daha etkin hale getirme gibi kritik bileşenleri içermektedir (Hübner vd., 2016). Dijital dönüşümün bir parçası olarak, akıllı lojistik sistemleri, nesnelerin interneti (IoT) ve blokzincir gibi yenilikçi teknolojiler, tedarik zinciri yönetiminde büyük değişimlere neden olmuştur (Wang vd., 2016). Örneğin, Amazon'un uyguladığı robotik depo sistemleri ve drone teslimatları, dijital dönüşümün e-ticaret lojistiğine nasıl entegre edildiğini gösteren önemli örneklerdir (Kembro ve Norrman, 2019). Rekabetin artması, şirketleri lojistik maliyetlerini düşürmeye ve operasyonel verimliliği artırmaya yönlendirmektedir (Hübner vd., 2016). Bununla birlikte, müşterilerin beklentileri de giderek değişmekte ve daha geniş ürün yelpazesi, yüksek erişilebilirlik, esnek teslimat ve iade seçenekleri gibi unsurlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Mahar vd., 2014; Bernon vd., 2016; Wollenburg, Hübner, Kuhn ve Trautrim, 2018). Özellikle e-ticaret sektöründe, müşteriler daha kısa teslimat süreleri talep etmekte ve bu durum perakendeciler üzerinde siparişin alınmasından malların toplanması, paketlenmesi ve gönderilmesine kadar geçen süreci minimize etme yönünde baskı oluşturmaktadır (Hübner vd., 2015; Hübner vd., 2016). Bu doğrultuda, lojistik süreçlerin hızlandırılması ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilmek adına fiziksel dağıtım yapılarında önemli değişimler yaşanmaktadır.

Geleneksel olarak merkezileştirilmiş lojistik yönetiminden uzaklaşarak, çok kanallı perakendeciler daha fazla sayıda işlem düğümü ile karakterize edilen merkeziyetsiz bir yapıya doğru ilerlemektedir (Abrahamsson

vd., 1998). Bu dönüşüm, mağazaların yalnızca satış noktası olarak değil, aynı zamanda sipariş karşılama, tıkla ve topla hizmetleri ve iade süreçlerini yöneten lojistik merkezler olarak yeni roller üstlenmesini sağlamaktadır (Colla ve Lapoule, 2012; Cao, 2014; Ishfaq vd., 2016). Bu değişim, lojistik süreçlerin müşteri beklentilerine daha duyarlı hale gelmesini sağlarken, aynı zamanda işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine de olanak tanımaktadır. Dijital dönüşüm ve yenilikçi lojistik çözümler, bu yeni dağıtım yapılarının daha verimli çalışmasını destekleyerek, esneklik ve hız açısından optimize edilmiş tedarik zinciri modellerinin benimsenmesini teşvik etmektedir.

Lojistik operasyonları, dijital teknolojiler aracılığıyla veri odaklı hale gelmiş ve süreçlerde optimizasyon sağlanmıştır (Tiwari, Wee ve Daryanto, 2018). Yapay zekâ destekli tahminleme sistemleri, talep yönetimi ve dinamik envanter kontrolü konularında lojistik firmalarına büyük avantajlar sunmaktadır (Ivanov, Dolgui ve Sokolov, 2019). Bununla birlikte, dijital dönüşümün sağladığı otomasyon, lojistik süreçlerinde insan faktörünün azalmasına ve iş gücü dinamiklerinin değişmesine yol açmaktadır (Sternberg ve Andersson, 2014). Dijital dönüşümün en belirgin etkilerinden biri lojistik süreçlerde optimizasyonun artırılmasıdır (Sarkis, 2017). Yapay zekâ ve makine öğrenimi, lojistik ağlarının dinamik olarak yönetilmesine ve rota planlamalarının gerçek zamanlı olarak optimize edilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin, Google tarafından geliştirilen yapay zekâ destekli trafik tahminleme sistemleri, lojistik operasyonlarda teslimat sürelerinin minimize edilmesine katkıda bulunmaktadır (Zhang, 2019).

3. YAPAY ZEKA DESTEKLİ LOJİSTİK MODELLERİ

Son yıllarda e-ticaretin hızlı yükselişi, lojistik sektöründe dijital dönüşüm ihtiyacını kaçınılmaz hale getirmiştir. Dijital dönüşüm, geleneksel iş süreçlerinin dijital teknolojiler

yardımla yeniden yapılandırılması olarak tanımlanmakta olup, rekabetçi avantaj sağlamak amacıyla süreçlerin verimliliğini ve etkinliğini artırmayı hedefler (Verhoef vd., 2021; Bharadwaj vd., 2013). E-ticaret işletmeleri özellikle tedarik zinciri ve lojistik faaliyetlerini dijital dönüşüm kapsamında optimize etmeyi öncelikli hedef olarak belirlemektedir (Kamble vd., 2020).

Lojistik süreçlerinde dijital dönüşümün merkezinde yapay zekâ (YZ) teknolojileri yer almaktadır. Yapay zekâ; makine öğrenmesi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi çeşitli tekniklerle işletmelerin lojistik süreçlerini otomatikleştirmelerine ve müşteri taleplerine hızlı ve doğru yanıt vermelerine olanak tanımaktadır (Davenport vd., 2020; Fosso Wamba vd., 2021).

Lojistik alanında yapay zekânın sağladığı en büyük avantajlar arasında talep tahmini, rota optimizasyonu, stok yönetimi ve depo yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi bulunmaktadır (Riahi vd., 2021; Wang vd., 2019a). Özellikle derin öğrenme algoritmaları, büyük veri analizinde öngörücü analitik uygulamaları ile lojistik maliyetleri düşürmekte ve teslimat sürelerini önemli ölçüde kısaltmaktadır (Sharma vd., 2020). Son dönem araştırmaları, yapay zekâ destekli lojistik modellerinin operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra müşteri memnuniyetini ve hizmet kalitesini de artırdığını ortaya koymaktadır (Kshetri, 2018; Wang vd., 2019b). Bu süreçte dronlar, otonom araçlar ve robotik depo sistemleri gibi yenilikçi teknolojiler, yapay zekâ uygulamalarıyla entegre edilerek lojistik süreçlerinde devrim yaratmaktadır (Ivanov ve Dolgui, 2020).

Lojistik sektöründe dijital dönüşümün etkin uygulanması için büyük veri ve yapay zekâ sistemlerinin entegrasyonu kritik öneme sahiptir. Bu entegrasyon, işletmelere stratejik karar almada yüksek esneklik sağlarken, lojistik maliyetleri düşürmekte ve operasyonel riskleri azaltmaktadır (Ardito vd., 2019; Zhong vd., 2017). Yapay zekâ destekli lojistik modelleri, e-ticaret firmalarının dijital

dönüşüm süreçlerinde sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamasında önemli bir stratejik araç haline gelmiştir. Bu bağlamda lojistik süreçlerin dijitalleşmesi, yakın gelecekte lojistik sektörünün iş yapış şeklini radikal biçimde değiştirecektir.

3.1. Yapay Zeka ve Büyük Veri Kullanımı

Büyük veri kavramı ilk kez Cox ve Ellsworth (1997) tarafından veri kümelerinin geleneksel yöntemlerle işlenemeyecek kadar büyük ve karmaşık hale gelmesi olarak ifade edilmiştir (GilPress, 2013). Büyük veri, özellikle yüksek hacim, hız, çeşitlilik, doğruluk ve değer gibi temel bileşenleri içeren "5V" modeli çerçevesinde tanımlanmaktadır (White, 2012; Addo-Tenkorang ve Helo, 2016). Büyük veri kümeleri günümüzde sürekli olarak büyümekte olup, yakın gelecekte yıllık veri üretiminin Zettabyte seviyelerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Kaisler vd., 2013; Gantz ve Reinsel, 2012).

Büyük veri, çeşitli kaynaklardan elde edilir; özellikle RFID sensörleri, sosyal medya paylaşımları, mobil cihaz verileri, konum tabanlı servisler, IoT (nesnelerin interneti) cihazları ve internet aktivitelerinden toplanan verilerle oluşturulmaktadır (Zakir vd., 2015; Chen, Chiang ve Storey, 2012). Bu tür veriler, geleneksel analitik yaklaşımlar yerine ileri seviye analitik tekniklerle işlenmektedir. Büyük veri analitiği, istatistiksel analiz, veri madenciliği ve öngörücü analitik gibi yöntemlerle, iş dünyasında stratejik kararların alınmasını kolaylaştıran kritik içgörüler sağlamaktadır (Russom, 2011; McAfee ve Brynjolfsson, 2012). Büyük veri analitiği uygulamalarıyla işletmeler müşteri davranışlarını daha doğru bir şekilde anlayabilmekte, operasyonel verimliliklerini artırmakta ve pazar trendlerini daha iyi öngörebilmektedir (LaValle vd., 2010; Loshin, 2013). Akter vd. (2016), büyük veri analitiğinin organizasyonlara yeni ürün ve hizmet geliştirme, müşteri hizmetlerini iyileştirme, gelirleri artırma ve yeni pazarlara erişim gibi önemli avantajlar sağladığını

vurgulamıştır. Buna ek olarak, Zhong vd. (2016) büyük veri analitiğinin finans, sağlık, lojistik, e-ticaret ve üretim gibi sektörlerde kritik öneme sahip olduğunu belirtmiştir.

Son yıllarda yapay zekâ teknolojileri, büyük verinin analizi ve yorumlanmasında güçlü bir araç haline gelmiştir (Jordan ve Mitchell, 2015). Makine öğrenmesi algoritmaları, derin öğrenme modelleri ve doğal dil işleme teknikleri gibi yapay zekâ uygulamaları sayesinde büyük veri kümelerinden anlamlı bilgi üretimi hızlandırılmıştır (Chen vd., 2012; Obermeyer ve Emanuel, 2016). Yapay zekanın büyük veriyle entegrasyonu, işletmelere gerçek zamanlı analiz ve daha iyi karar verme yetenekleri kazandırarak dijital dönüşüm süreçlerinde rekabet avantajı sağlamaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2017; Bughin vd., 2018). Büyük veri ve yapay zekâ entegrasyonu, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerinde önemli bir stratejik avantaj olarak değerlendirilmektedir. Özellikle yapay zekâ destekli analitik yaklaşımlar, şirketlerin veri odaklı karar alma becerilerini artırmakta ve uzun vadeli sürdürülebilirliklerine katkıda bulunmaktadır (McKinsey, 2018; Davenport ve Ronanki, 2018). Yapay zekâ ve büyük veri kullanımı, lojistik süreçlerin daha veri odaklı ve akıllı hale gelmesini sağlamaktadır (Zhou, Chong ve Ngai, 2015). Büyük veri analitiği, geçmiş satış verilerini analiz ederek gelecekteki talepleri tahmin etme konusunda işletmelere büyük avantajlar sağlamaktadır (Tiwari, Wee ve Daryanto, 2018).

3.2. Talep Tahminleme ve Stok Yönetimi

Yapay zekâ destekli tedarik zinciri yönetimi, veri odaklı karar alma süreçlerini destekleyerek envanter yönetiminde etkinliği artırmaktadır (Sarkis, 2017). E-ticaret lojistiğinde talep tahminleme, stok yönetiminin en kritik unsurlarından biridir (Hübner vd., 2016). Yapay zeka tabanlı tahminleme algoritmaları, müşteri talep modellerini analiz ederek optimum stok seviyelerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Christopher, 2016). Bunun sonucunda, stok fazlalığından kaynaklanan

maliyetler azaltılmakta ve tedarik zinciri süreçleri daha etkin hale getirilmektedir (Ivanov vd., 2019).

Günümüzde lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde yaşanan en önemli zorluklardan biri, müşteri taleplerini doğru tahmin edebilme ve buna uygun stok yönetimini gerçekleştirebilmektir (Christopher, 2016; Chopra ve Meindl, 2019). Talep tahminleme, stok yönetiminde kritik bir rol üstlenmekte olup, etkin bir tahminleme sistemi stok maliyetlerini azaltırken müşteri memnuniyetini de önemli ölçüde artırmaktadır (Hübner vd., 2016; Sanders, 2016). Yapay zekâ (YZ) ve büyük veri analitiği, lojistik süreçleri daha akıllı, esnek ve veri odaklı hale getirme konusunda önemli avantajlar sunmaktadır (Zhou vd., 2015). Büyük veri analitiği, özellikle tarihsel satış verilerinin analiziyle gelecekte oluşacak taleplerin daha doğru bir şekilde öngörülmesini mümkün kılmaktadır (Tiwari vd., 2018; Boone vd., 2019). Bu yaklaşım, işletmelerin operasyonel kararlarını verilere dayalı olarak almalarını sağlayarak stok yönetimi süreçlerinde belirsizliği azaltmaktadır (Choi, Wallace & Wang, 2018).

Yapay zekâ destekli algoritmalar, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri aracılığıyla geçmiş verileri analiz ederek gelecekteki talebi tahmin etmektedir. Bu yöntemler, klasik yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk oranları sunmaktadır (Ivanov vd., 2019; Nguyen vd., 2020). Talep tahminlerinin doğruluğunun artması, stok fazlalığını ve stok tükenmesini engelleyerek stok yönetimi süreçlerinde maliyetleri azaltmakta ve lojistik operasyonların etkinliğini artırmaktadır (Christopher, 2016; Sarkis, 2017). Özellikle e-ticaret lojistiğinde müşteri taleplerinin hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi, optimum stok seviyelerinin belirlenmesi açısından hayati öneme sahiptir (Hübner vd., 2016). Yapay zekâ teknolojileri, talepteki ani dalgalanmalara daha hızlı tepki verilmesini sağlayarak, envanter düzeylerini ve depolama maliyetlerini optimize etmektedir

(Sanders, 2016; Choi vd., 2018). Ayrıca, yapay zekâ algoritmalarının talep modellerini sürekli olarak öğrenmesi ve iyileştirmesi, uzun vadeli talep tahminlerinin daha güvenilir hale gelmesine olanak sağlamaktadır (Ivanov vd., 2019; Wang ve Disney, 2016). Yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerinin talep tahminleme ve stok yönetimi süreçleriyle entegrasyonu, lojistik operasyonların etkinliğini artırarak müşteri memnuniyetini ve işletme kârlılığını doğrudan olumlu yönde etkilemektedir (Nguyen vd., 2020; Christopher, 2016).

3.3. Rota Optimizasyonu ve Dinamik Teslimat Sistemleri

Rota optimizasyonu, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerinde maliyet etkinliğini sağlamak açısından temel stratejilerden biridir. Geleneksel rota belirleme yöntemleri çoğu zaman değişken trafik koşullarına ve teslimat taleplerindeki ani değişimlere yeterince hızlı tepki verememektedir. Bu nedenle, günümüz lojistik sistemlerinde yapay zekâ (YZ) destekli dinamik rota optimizasyon sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Kembro ve Norrman, 2019; Wang vd., 2016). Yapay zekâ tabanlı rota optimizasyon sistemleri, gerçek zamanlı trafik verileri, hava durumu bilgileri ve anlık müşteri taleplerini analiz ederek en uygun teslimat rotalarını belirleyebilmektedir (Cattaruzza vd., 2017). Bu sistemlerin kullanımıyla, teslimat süreçlerinde verimlilik artarken yakıt tüketimi ve işletme maliyetleri önemli ölçüde düşürülmekte, müşteri memnuniyetinde ise belirgin artış sağlanmaktadır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016; Gevaers vd., 2014).

Yapay zekanın rota optimizasyonu için kullanılan yöntemleri arasında genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, simülasyon tabanlı optimizasyon modelleri ve bulanık mantık teknikleri bulunmaktadır (Cattaruzza vd., 2017; Riahi vd., 2021). Bu yöntemlerin entegrasyonu, lojistik firmalarının sürekli değişen piyasa koşullarına hızlı ve esnek cevap vermesine imkân tanımaktadır (Wang vd., 2016). Yapay zekâ tabanlı rota optimizasyonu

ve dinamik teslimat sistemleri, lojistik süreçlerin dijital dönüşümünde temel bir unsur haline gelmiştir. Bu teknolojilerin entegrasyonu ile şirketler lojistik maliyetlerini düşürmekte, operasyonel verimliliği artırmakta ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmektedirler.

4. SON MİL TESLİMATTA YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Son mil teslimat (last mile delivery), e-ticaret lojistiğinde müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen, lojistik maliyetlerinin en yüksek olduğu süreçlerden biridir (Lim vd., 2018; Joerss vd., 2016). Tüketicilerin hızlı ve esnek teslimat talepleri, lojistik firmalarını bu alanda yenilikçi teknolojilere yöneltmektedir. E-ticaret lojistiğinde son mil teslimat süreçleri, müşteri memnuniyetinin artırılması ve operasyonel verimliliğin sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir (Gevaers vd., 2014). Geleneksel teslimat yöntemlerinin sınırlamaları nedeniyle lojistik firmaları, yapay zekâ destekli çözümlerle teslimat süreçlerini optimize etmeye yönelmektedir. Bu bağlamda, son mil teslimatta yapay zekâ tabanlı algoritmaların ve robotik sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Dinamik teslimat sistemleri, özellikle e-ticarette son mil (last-mile) teslimat süreçlerinde kritik bir rol üstlenmektedir (Lim vd., 2018). Son mil teslimatında yapay zekâ destekli sistemler, insansız araçlar (otonom araçlar) ve drone teknolojileri ile entegre edilerek teslimat hızını ve operasyonel etkinliği önemli ölçüde artırmaktadır (Joerss vd., 2016; Kembro ve Norrman, 2019). Otonom araçlar ve dronlar sayesinde daha hızlı ve esnek teslimat seçenekleri sunulmakta, bu da tüketicilerin çevrimiçi alışveriş deneyimini ve marka bağlılığını olumlu yönde etkilemektedir (Ranieri vd., 2018).

Robotik teslimat sistemleri, özellikle büyük şehirlerde artan trafik yoğunluğu ve kentsel lojistik problemlerine etkili çözümler sunmaktadır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Yapay zekâ destekli robotlar ve dronlar sayesinde paket teslimatında insan hatalarının

önüne geçilmekte, verimlilik artırılmakta ve müşteri deneyimi iyileştirilmektedir (Chi ve Nam, 2023). Örneğin Amazon, Alibaba ve JD gibi önde gelen e-ticaret firmaları, yapay zekâ destekli insansız teslimat sistemlerini başarıyla uygulayarak rekabet avantajı elde etmektedir (Ranieri vd., 2018; Lim vd., 2018).

Yapay zekâ uygulamaları, son mil lojistikte teslimat noktalarının optimizasyonunda ve dinamik rotalama süreçlerinde de etkili olmaktadır (Ivanov ve Dolgui, 2020). Bu sistemler gerçek zamanlı trafik koşulları, müşteri konumları ve hava durumu gibi değişkenleri analiz ederek teslimatların zamanında gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Boysen vd., 2021; Chi ve Nam, 2023). Böylece müşteri memnuniyetinin artırılmasına ek olarak, işletmelerin lojistik süreçlerinde çevresel sürdürülebilirliği sağlama hedeflerine de katkıda bulunmaktadır (Mangiaracina vd., 2019). Yapay zekâ uygulamaları e-ticaret lojistiğinin son mil teslimatında dijital dönüşümü hızlandırmakta, teslimat süreçlerinde etkinliği artırmakta ve sektörde yenilikçi çözümler için büyük potansiyel sunmaktadır.

4.1. Akıllı Depolar ve Robotik Sistemler

Yapay zeka destekli akıllı depolar, sipariş yönetimini hızlandırmak ve envanter hareketlerini optimize etmek için geliştirilmektedir (Frazelle, 2016). Robotik sistemler, depo içi süreçleri otomatikleştirerek iş gücü maliyetlerini azaltmakta ve hata oranlarını düşürmektedir (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Amazon'un robot destekli depo sistemleri, bu alandaki yenilikçi uygulamalara önemli bir örnek teşkil etmektedir. Akıllı depolar ve robotik sistemlerin kullanımı, lojistik süreçlerinde dijital dönüşümün en önemli adımlarından biri olarak kabul edilmektedir. E-ticaret sektöründe giderek artan müşteri beklentileri ve operasyonel karmaşıklıklar, firmaları depo süreçlerini optimize etmek için akıllı ve yenilikçi teknolojilere yöneltmektedir (Frazelle, 2016).

Akıllı depolar, yapay zekâ destekli sistemlerle entegre edilerek sipariş yönetim süreçlerini

hızlandırmakta ve envanter hareketlerini daha etkin hale getirmektedir. Depolardaki ürünlerin hızlı, doğru ve etkin şekilde yönetilmesi, müşteri memnuniyetini doğrudan etkilemektedir. Yapay zekâ algoritmalarıyla desteklenen robotik sistemler, sipariş toplama, paketleme ve ürün sınıflandırma gibi süreçleri otomatikleştirerek insan kaynaklı hataları minimize etmekte ve depo verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Frazelle, 2016; Genç ve Tunalı, 2022; Eğilmez, 2024). Son yıllarda, otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV), otonom robotlar ve insansız forkliftler gibi yenilikçi teknolojiler, depo içi hareketlilik ve operasyonel verimlilik açısından ciddi avantajlar sağlamaktadır (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Bu teknolojiler, lojistik merkezlerdeki ürün akış hızını artırarak, işgücü maliyetlerini düşürmekte ve depo alanlarının kullanım etkinliğini optimize etmektedir.

Akıllı depo sistemleri ve robotik teknolojiler, gerçek zamanlı veri analiziyle entegre edilerek depo operasyonlarında esneklik ve çeviklik sağlamaktadır (Frazelle, 2016; Ivanov ve Dolgui, 2020). Özellikle, yapay zekâ destekli otonom mobil robotlar (AMR), siparişlerin hızlı ve doğru bir şekilde hazırlanmasına yardımcı olarak operasyonların sürekliliğini ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır. Aynı zamanda, robotik sistemlerin kullanımı, insan kaynaklı iş kazalarını azaltarak depo süreçlerinin güvenliğini de artırmaktadır (Kembro ve Norrman, 2019).

Akıllı depolar, büyük veri analitiği ve yapay zekânın entegre edilmesiyle gerçek zamanlı stok takibi, ürün yerleşimi optimizasyonu ve talep bazlı stok yönetimine olanak tanımaktadır (Frazelle, 2016). Böylelikle işletmeler, dinamik piyasa koşullarına ve talep dalgalanmalarına hızlı yanıt vererek rekabet avantajlarını sürdürmektedirler (Sharma vd., 2020). Yapay zekâ destekli akıllı depo ve robotik sistemlerin lojistik süreçlerde kullanımının artması, e-ticaret işletmelerinin operasyonel verimliliklerini güçlendirmekte ve

rekabet avantajlarını sürdürülebilir hale getirmektedir.

4.2. Drone ve Otonom Araçlarla Teslimat

Son mil teslimatta dronelar ve otonom araçlar, teslimat sürelerini kısaltmak ve karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla giderek daha fazla tercih edilmektedir (Goodchild ve Toy, 2018). Yapay zekâ destekli otonom teslimat sistemleri, trafik koşullarına göre en uygun güzergahları belirleyerek teslimat süreçlerini optimize etmektedir (Murray ve Chu, 2015). Ancak, bu teknolojilerin yasal düzenlemeler ve altyapı gereksinimleri nedeniyle bazı sınırlamaları bulunmaktadır.

Son yıllarda e-ticaret hacminin hızla büyümesi ve müşteri beklentilerinin artması, lojistik firmalarını teslimat süreçlerini daha hızlı, esnek ve verimli hale getirmek için yenilikçi teknolojilere yöneltmiştir (Joerss vd., 2016). Bu bağlamda yapay zekâ destekli otonom teslimat sistemleri, özellikle son mil teslimatta önemli bir potansiyel sunmaktadır. Otonom teslimat sistemleri, sürücüsüz kara araçları ve drone teknolojileri gibi yenilikçi çözümler kullanılarak teslimat süreçlerini optimize etmektedir (Murray ve Chu, 2015; Ranieri vd., 2018). Otonom teslimat araçlarının kullanımı, trafik yoğunluğu, trafik kazaları, hava koşulları ve çevresel etkenlerden kaynaklanan gecikmeleri önemli ölçüde azaltabilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları, gerçek zamanlı veri analitiğiyle trafik durumlarını, hava koşullarını ve müşteri taleplerini sürekli izleyerek en uygun güzergahları belirleyebilmektedir (Murray ve Chu, 2015; Figliozi, 2020). Böylece teslimat süreçlerinde verimlilik artırılırken, operasyonel maliyetler azaltılmakta ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkılar sağlanmaktadır (Ranieri vd., 2018).

Drone tabanlı teslimat sistemleri, kırsal bölgeler ve yoğun şehir merkezleri gibi geleneksel lojistik yöntemlerin zorlandığı alanlarda özellikle etkilidir (Joerss vd., 2016; Mangiaracina vd., 2019). Ancak, drone ve otonom araçların yaygın kullanımının önündeki en büyük engeller, mevcut yasal

düzenlemeler ve altyapı yetersizlikleridir. Bu teknolojilerin güvenli kullanımı için gerekli düzenleyici çerçeveler, hava sahası yönetimi, güvenlik standartları ve altyapı yatırımları gerekmektedir (Ranieri vd., 2018; Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Otonom teslimat sistemlerinin sağladığı avantajlar arasında düşük işletme maliyetleri, azaltılmış teslimat süreleri, trafik sıkışıklığını hafifletme ve karbon emisyonlarının azaltılması yer almaktadır (Boysen vd., 2021; Ranieri vd., 2018). Ayrıca, yapay zekâ tabanlı bu sistemler, insan hatalarından kaynaklanan teslimat sorunlarını minimuma indirerek, müşteri memnuniyetinde önemli artışlar sağlamaktadır (Ivanov ve Dolgui, 2020).

Yapay zekâ destekli otonom teslimat sistemlerinin gelecekte daha yaygın hale gelmesi için gerekli yasal düzenlemeler ve altyapı geliştirmeleri kritik önem taşımaktadır (Mangiaracina vd., 2019; Kembro ve Norrman, 2019). Yasal çerçevelerin netleşmesi, teknolojinin yayılımını hızlandırırken güvenlik, gizlilik ve etik konuların ele alınmasını da zorunlu kılmaktadır (Ranieri vd., 2018; Figliozi, 2020). Yapay zekâ destekli otonom teslimat sistemleri, e-ticaret lojistiğinde dijital dönüşümün en yenilikçi ve önemli unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Gelecekte bu teknolojilerin daha da gelişmesi ve yaygınlaşması, lojistik sektöründe büyük dönüşümlere yol açacaktır.

4.3. Akıllı Dolaplar ve Alternatif Teslimat Çözümleri

Akıllı dolap sistemleri, e-ticaret lojistiğinde müşteri odaklı çözümler geliştirmek adına önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Bu sistemler, müşterilerin siparişlerini belirli noktalardan 7/24 alabilmesini sağlayarak hem teslimat esnekliğini artırmakta hem de lojistik maliyetlerini düşürmektedir (Ranieri vd., 2018). Son mil teslimat süreçlerinde yenilikçi ve müşteri odaklı çözümler geliştirmek amacıyla lojistik sektörde akıllı dolap (smart locker) sistemleri giderek önem

kazanmaktadır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016; Vakulenko vd., 2018). Akıllı dolap sistemleri, müşterilere teslimat saatlerini ve lokasyonlarını seçme esnekliği sunmakta, böylece teslimat süreçlerinde verimliliği ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır (Ranieri vd., 2018; Moroz ve Polkowski, 2016).

Akıllı dolap sistemleri, yapay zekâ destekli yönetim yazılımlarıyla entegre edildiğinde lojistik operasyonlarının etkinliğini önemli ölçüde yükseltmektedir (Lim vd., 2018). Yapay zekâ teknolojileri sayesinde, gerçek zamanlı olarak siparişlerin teslimat durumları izlenebilmekte, dolap kullanım oranları optimize edilmekte ve müşterilere esnek teslimat noktası seçenekleri sunulmaktadır (Mangiaracina vd., 2019). Bu sistemlerin kullanımıyla birlikte teslimat başarısızlığı oranları düşmekte, lojistik firmalarının teslimat sürekliliği ve hizmet kalitesi artmaktadır (Wang vd., 2018). Akıllı dolaplar ve benzeri alternatif teslimat çözümleri, özellikle kentsel alanlarda trafik yoğunluğu ve müşterilerin teslimat anında evde bulunamama gibi sorunları azaltmaktadır (Gevaers vd., 2014; Lim vd., 2018). Bu sistemler ayrıca çevresel sürdürülebilirliğe de olumlu katkıda bulunmakta ve teslimatların çevresel ayak izini azaltmaktadır. Avrupa ve ABD'deki e-ticaret firmaları, şehir içi teslimatlarda akıllı dolapların kullanımını artırarak teslimat verimliliğini yükseltmekte ve müşteri deneyimini zenginleştirmektedir (Vakulenko vd., 2018; Ranieri vd., 2018).

Akıllı dolap çözümleri dışında, teslimat noktaları (pick-up point) ve mobil teslimat birimleri gibi alternatif teslimat sistemleri de e-ticaret lojistiğinde giderek popüler hale gelmektedir (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Yapay zekâ tabanlı optimizasyon algoritmalarıyla bu noktaların konumlandırılması ve işletilmesi, teslimat süreçlerinde operasyonel maliyetleri azaltmakta ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır (Joerss vd., 2016). Akıllı dolaplar ve alternatif teslimat çözümleri, yapay zekâ teknolojileriyle birlikte e-ticaret lojistiğinde

operasyonel verimlilik, müşteri memnuniyeti ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

5. YAPAY ZEKA DESTEKLİ LOJİSTİK MODELLERİN AVANTAJLARI VE ZORLUKLARI

Yapay zekâ destekli lojistik modelleri, e-ticaret sektöründe maliyetleri düşürme, teslimat süreçlerini hızlandırma ve müşteri memnuniyetini artırma gibi birçok avantaj sunmaktadır (Ivanov vd., 2019). Bununla birlikte, bu sistemlerin uygulanması belirli zorlukları da beraberinde getirmektedir.

5.1. Yapay Zekâ Destekli Lojistik Modellerin Avantajları

Yapay zekâ destekli lojistik modelleri, e-ticaret sektöründe maliyet tasarrufu, operasyonel hızlanma ve müşteri memnuniyetinde artış gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Ivanov vd., 2019; Christopher, 2016). Bu sistemler, özellikle büyük veri analitiği ve ileri seviye algoritmalar kullanılarak lojistik operasyonlarının etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Tiwari vd., 2018). Özellikle rota optimizasyon algoritmaları, trafik yoğunluğunu gerçek zamanlı olarak analiz ederek en verimli güzergâhları belirlemekte, yakıt tüketimini azaltmakta ve böylelikle lojistik maliyetleri düşürmektedir (Wang vd., 2019; Zhang, 2019). Yapay zekâ destekli tahminleme modelleri ise talep belirsizliğini azaltarak stok fazlalığı ve stok tükenmesinin önüne geçmekte, envanter maliyetlerini minimuma indirerek lojistik süreçlerin sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlamaktadır (Christopher, 2016; Ivanov vd., 2019). Ayrıca, yapay zekâ uygulamalarının depo yönetimi süreçlerinde kullanımı, otomasyon ve robotik sistemlerin devreye girmesiyle operasyonel hızın artmasını sağlamaktadır. Akıllı dolaplar ve alternatif teslimat yöntemleri gibi yenilikçi uygulamalar da müşteri memnuniyetini artırarak rekabet avantajı yaratmaktadır (Mangiaracina vd., 2019; Vakulenko vd., 2018). Sonuç olarak, yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin etkin

kullanımı, e-ticaret sektöründe lojistik operasyonlarını maliyet, hız ve müşteri odaklılık açısından güçlendirmekte ve sürdürülebilir rekabet avantajı oluşturmaktadır (Christopher, 2016; Joerss vd., 2016).

5.2. Yapay Zekâ Destekli Lojistik Modellerinin Karşılaştığı Zorluklar

Yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin sunduğu avantajlara karşın, bu sistemlerin hayata geçirilmesi sürecinde bazı önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. İlk olarak, yapay zekâ ve robotik sistemlerin başlangıç yatırım maliyetlerinin yüksek olması, küçük ve orta ölçekli işletmelerin bu teknolojilere erişimini kısıtlamaktadır (Tiwari vd., 2018; Winkelhaus ve Grosse, 2020). Veri güvenliği ve gizlilik endişeleri, yapay zekâ destekli lojistik çözümlerin uygulanması önündeki kritik bir diğer engeldir (Sarkis, 2017; Zhou vd., 2015). Büyük veri analitiğine dayalı sistemlerin kullanımı, veri ihlalleri ve siber güvenlik risklerini artırmakta, firmaların güvenlik altyapılarını güçlendirmesini zorunlu kılmaktadır (Rojas vd., 2022). Bu durum, özellikle müşteri bilgilerinin güvenliği konusunda ciddi endişeler yaratmaktadır. Diğer bir zorluk, yasal düzenlemelerin henüz tam olarak netleşmemesi nedeniyle otonom araçlar ve drone tabanlı teslimat sistemlerinin geniş ölçekte kullanılamamasıdır (Murray ve Chu, 2015; Goodchild ve Toy, 2018). Bu teknolojilerin operasyonel olarak yaygınlaşması için mevcut düzenleyici çerçevenin netleştirilmesi ve gerekli altyapı yatırımlarının yapılması önem taşımaktadır (Ranieri vd., 2018; Rojas vd., 2022). Son olarak, yapay zekâ teknolojilerinin işgücü piyasası üzerinde oluşturduğu etki, önemli sosyal ve ekonomik sonuçlar doğurabilmektedir. Otomasyon ve robotik sistemlerin artmasıyla birlikte geleneksel iş kollarında çalışanların yerini makineler almakta, bu da işgücü piyasasında ciddi dönüşümlere yol açmaktadır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Bu durum, işletmelerin işgücünü dönüştürme ve yeni becerilerle

donatma gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Sonuç olarak yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin uygulanmasında teknolojik, ekonomik, yasal ve sosyal alanlarda karşılaşılan zorluklar bulunmasına rağmen, etkin stratejik planlamalarla bu sorunlar minimize edilerek teknolojinin sağladığı avantajlardan maksimum düzeyde yararlanmak mümkündür (Ranieri vd., 2018; Mangiaracina vd., 2019).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, e-ticaret sektöründe yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin kullanımının lojistik süreçleri nasıl dönüştürdüğünü ve bu teknolojilerin operasyonel performansla olan etkilerini ortaya koymaktadır. Yapılan literatür taramasına göre, yapay zekâ ve büyük veri analitiği uygulamalarının lojistik operasyonları daha etkin ve verimli hale getirdiği, teslimat sürelerini azalttığı ve müşteri memnuniyetini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yapay zekâ destekli lojistik modellerinin geleceği, hem teknolojik gelişmeler hem de değişen tüketici beklentileri doğrultusunda şekillenmektedir (Ivanov vd., 2019). Özellikle büyük veri analitiği, nesnelerin interneti ve blok zinciri teknolojileri gibi yeniliklerin lojistik süreçlere entegrasyonu, operasyonel verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmada kritik bir rol oynamaktadır (Wang, Gunasekaran, Ngai & Papadopoulos, 2016). Çalışmada ele alınan veriler ve teorik yaklaşımlar, e-ticaret lojistiğinin dijital dönüşüm sürecinde nasıl yeniden yapılandığını ve yapay zekâ tabanlı çözümlerle nasıl optimize edildiğini ortaya koymaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, dijital teknolojilerin lojistik süreçleri hızlandırdığı, maliyetleri azalttığı ve müşteri memnuniyetini artırdığı yönünde güçlü kanıtlar sunmaktadır (Christopher, 2016; Wang vd., 2016). Dolayısıyla, e-ticaret lojistiğinde dijital dönüşüm süreci, sektördeki firmaların rekabet avantajı sağlamak için kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Dijitalleşme yalnızca lojistik süreçlerin verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda tedarik zincirlerinde proaktif ve

esnek yönetim anlayışını teşvik etmektedir. İşletmeler, yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi araçları kullanarak tedarik zinciri süreçlerini daha öngörülebilir ve yönetilebilir hale getirmekte, bu sayede değişen pazar koşullarına daha hızlı uyum sağlayabilmektedir. Dijital dönüşümün sunduğu bu fırsatlar, küresel ölçekte e-ticaret lojistiğini yeniden şekillendirmekte ve işletmelere daha rekabetçi bir konum kazandırmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda, yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin daha da gelişmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir. Otomasyon ve otonom araç teknolojileri, lojistik süreçlerin daha hızlı ve düşük maliyetli hale gelmesini sağlayacaktır (Tiwari vd., 2018). Bunun yanı sıra, gerçek zamanlı veri analitiği ve tahminleme algoritmaları, lojistik operasyonlarının daha esnek ve müşteri odaklı olmasına olanak tanıyacaktır (Christopher, 2016). Bu süreçte bireyler, gelecekteki nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini etkilemeden, kendi tercihlerine ve beklentilerine dayalı olarak gereksinimlerini karşılayabilmektedir (Narkhede vd., 2024). Dijital dönüşüm ve teknolojik yenilikler, işletmelerin sürdürülebilirlik ilkelerine uyum sağlamasına ve müşteri odaklı stratejiler geliştirmesine katkıda bulunmaktadır (Tunji-Olayeni vd., 2024).

E-ticaret lojistiğinde dijitalleşme, verimlilik ve hızın artırılmasının yanı sıra kaynakların daha etkin kullanımına da olanak tanımaktadır. Yapay zekâ, büyük veri analitiği ve otomasyon teknolojileri sayesinde lojistik süreçler daha esnek ve optimize hale gelmekte, böylece hem işletmelerin rekabet gücü artmakta hem de müşteri deneyimi iyileşmektedir. Bu dönüşüm, tedarik zincirlerinin daha şeffaf ve entegre hale gelmesini sağlarken, işletmelere operasyonel verimlilik ve maliyet avantajı sunmaktadır. Özellikle akıllı lojistik sistemleri ve veri odaklı karar alma mekanizmaları, gelecekte e-ticaret lojistiğinin temel yapı taşlarını oluşturacaktır. Dijitalleşmenin sunduğu bu fırsatlar, işletmelerin dinamik

piyasa koşullarına daha hızlı uyum sağlamasına olanak tanırken, tedarik zincirlerini sürdürülebilir ve dayanıklı hale getirmektedir. Dijital dönüşüm, yalnızca yeni teknolojilerin benimsenmesiyle sınırlı kalmayıp, organizasyonların daha çevik, müşteri odaklı ve veri merkezli hale gelmesini de içeren kapsamlı bir dönüşüm sürecidir. İşletmeler, dijitalleşme yoluyla süreçlerini optimize ederek rekabet avantajı elde etmekte, operasyonel verimliliklerini artırmakta ve müşteri deneyimini iyileştirmektedir.

Dijital dönüşüm sürecinde ortaya çıkan eğilimler, işletmelerin yenilikçi çözümler geliştirmesine, iş birliği olanaklarını artırmasına ve müşteri etkileşimini daha güçlü hale getirmesine olanak tanımaktadır (Agarwal ve Alathur, 2023). Özellikle e-ticaret ve lojistik sektörlerinde dijital teknolojilerin entegrasyonu, tedarik zinciri süreçlerini daha esnek ve öngörülebilir hale getirerek, işletmelerin hızla değişen pazar koşullarına daha etkili bir şekilde uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, dijital dönüşüm işletmelerin yalnızca mevcut süreçlerini iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir ve rekabetçi bir büyüme stratejisi oluşturmalarına da yardımcı olmaktadır. Teknoloji ve veri odaklı yönetim anlayışı, geleceğin iş dünyasında başarıyı belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Yapay zekâ tabanlı lojistik çözümleri, farklı sektörlerde çeşitli uygulamalarla hayata geçirilmektedir. Amazon, Alibaba ve Walmart gibi küresel firmalar, robot destekli depolama ve drone ile teslimat sistemleri gibi yenilikçi teknolojileri aktif olarak kullanmaktadır (Goodchild ve Toy, 2018). Bu firmaların uygulamaları, sektörde dijital dönüşüm sürecine yön veren başarılı örnekler olarak değerlendirilmektedir (Murray ve Chu, 2015). E-ticaret sektöründe rekabet üstünlüğü sağlamak için işletmelerin yapay zekâ destekli lojistik çözümlerine yatırım yapması gerekmektedir (Sarkis, 2017). Stratejik olarak, firmaların büyük veri analitiğini etkin

kullanması, müşteri odaklı lojistik sistemleri geliştirmesi ve sürdürülebilir lojistik çözümleri benimsemesi kritik öneme sahiptir (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Ayrıca, yapay zekâ tabanlı tahminleme ve rota optimizasyonu, maliyetleri düşürerek işletmelerin rekabet avantajını artırmalarına katkıda bulunacaktır (Zhou vd., 2015).

Yapay zekâ destekli lojistik modellerinin sağladığı avantajlar arasında rota optimizasyonu, talep tahminleme, stok yönetimi ve otonom teslimat sistemleri öne çıkmaktadır. Literatürdeki araştırmalar, bu uygulamaların lojistik maliyetleri düşürerek işletmelerin rekabet avantajını güçlendirdiğini göstermektedir (Ivanov vd., 2019; Wang vd., 2016). Ayrıca akıllı depo ve robotik sistemler, akıllı dolaplar ve alternatif teslimat çözümleri gibi yeniliklerin e-ticaret lojistiğinde dijital dönüşümü hızlandırdığı, operasyonel maliyetleri düşürdüğü ve teslimat hızını artırdığı belirtilmektedir (Ranieri vd., 2018; Vakulenko vd., 2018). Ancak, bu teknolojilerin uygulanmasında belirli zorluklarla karşılaşmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin yüksek başlangıç maliyetleri, küçük ve orta ölçekli işletmeler için önemli bir engel oluşturmaktadır (Tiwari vd., 2018). Bunun yanı sıra, büyük veri kullanımının beraberinde getirdiği veri güvenliği ve gizlilik riskleri, işletmelerin güvenlik stratejilerini güçlendirmesini zorunlu kılmaktadır (Sarkis, 2017; Zhou vd., 2015). Ayrıca drone ve otonom araçların yaygın kullanımının önünde yasal düzenlemeler ve altyapı yetersizlikleri gibi engeller bulunmaktadır (Goodchild ve Toy, 2018; Rojas vd., 2022).

Çalışmada ayrıca, dijitalleşme ve yapay zekânın işgücü üzerinde yaratacağı dönüşümler de ele alınmıştır. Otomasyonun artışıyla birlikte lojistik sektöründe istihdam yapısının değişeceği ve dijital yetkinliklerin önem kazanacağı vurgulanmaktadır (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016). Bu doğrultuda işletmelerin dijital becerileri geliştirme konusunda stratejik adımlar atması

gerektiği sonucuna varılmıştır (Agarwal ve Alathur, 2023; Tunji-Olayeni vd., 2024).

Gelecekte yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin daha geniş ölçekte kullanılması beklenmektedir. Yapay zekânın, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti ve blok zinciri gibi diğer teknolojilerle entegrasyonu, lojistik süreçleri daha sürdürülebilir, şeffaf ve etkin hale getirecektir (Wang vd., 2016; Ivanov vd., 2019). Bu bağlamda, işletmelerin dijital dönüşüm stratejilerini etkin bir şekilde uygulayarak rekabet avantajlarını sürdürülebilir hale getirmeleri önerilmektedir.

Çalışma sonucunda işletmelere yönelik bazı stratejik öneriler sunulmuştur. Bunlar;

- İşletmeler, yapay zekâ destekli lojistik sistemlerinin yüksek yatırım maliyetlerini aşmak için kamu-özel sektör iş birliği modelleri geliştirmelidir.
- Veri güvenliği ve gizlilik risklerini yönetebilmek adına güçlü bir siber güvenlik altyapısı kurulmalıdır.
- Drone ve otonom araçlar gibi yenilikçi teknolojilerin kullanılmasını desteklemek amacıyla gerekli yasal düzenlemelerin ve altyapının oluşturulması için ilgili kurumlarla iş birliği yapılmalıdır.
- Dijital dönüşüm sürecinde işgücünün dijital yetkinliklerinin artırılması için eğitim programları düzenlenmeli ve çalışanların adaptasyonu sağlanmalıdır.
- Yapay zekâ ve büyük veri analitiği ile ilgili Ar-Ge faaliyetlerine yatırım yapılmalı, bu teknolojilerin lojistik süreçlere entegrasyonu teşvik edilmelidir.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, işletmelerin dijital dönüşüm sürecinde başarılı olmalarına, lojistik operasyonlarını optimize etmelerine ve sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamalarına olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, e-ticaret sektöründeki firmaların, dijital dönüşüm ve yapay zekâ teknolojilerine stratejik olarak yatırım yapmaları ve veri odaklı karar alma mekanizmalarını benimsemeleri kritik bir önem taşımaktadır. Bu dönüşüm, lojistik süreçlerin daha esnek, sürdürülebilir ve müşteri odaklı hale gelmesine olanak sağlayarak işletmelere küresel ölçekte rekabet üstünlüğü kazandıracaktır. Yapay zekâ destekli lojistik modellerinin geleceği, e-ticaret

sektöründe verimlilik ve müşteri memnuniyetini artırmak adına büyük fırsatlar sunmaktadır. Ancak, veri güvenliği, yatırım maliyetleri ve regülasyon gibi zorluklar da göz önünde bulundurulmalıdır. İşletmelerin, dijital dönüşüm stratejilerini proaktif bir şekilde belirleyerek yapay zekâ tabanlı lojistik çözümlerine entegre olması, gelecekteki başarıları açısından kritik bir gereklilik olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abrahamsson, M., Brege, S., & Norrman, A. (1998). Distribution channel reengineering – Organisational separation of distribution and sales functions in the European market. *Transport Logistics*, 1(4), 237–249.
- Addo-Tenkorang, R., & Helo, P. T. (2016). Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 528–543. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.023>
- Agarwal, A., & Alathur, S. (2023). Metaverse revolution and the digital transformation: Intersectional analysis of Industry 5.0. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 17(4), 688–707.
- Akter, S., Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Dubey, R., & Childe, S. J. (2016). How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment? *International Journal of Production Economics*, 182, 113–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.018>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 25(2), 323–346.
- Bal, H. Ç., & Erkan, Ç. (2019). Industry 4.0 and competitiveness. *Procedia Computer Science*, 158, 625–631. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.096>
- Bernon, M., Cullen, J., & Gorst, J. (2016). Online retail returns management: Integration within an omni-channel distribution context. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(6/7), 584–605.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482. <https://www.jstor.org/stable/43825919>
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482. <https://www.jstor.org/stable/43825919>
- Boone, T., Ganeshan, R., Jain, A., & Sanders, N. R. (2019). Forecasting sales in the supply chain: Consumer analytics in the big data era. *International Journal of Forecasting*, 35(1), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.09.003>

- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). The business of artificial intelligence. *Harvard Business Review*.
- Bughin, J., Hazan, E., Ramaswamy, S., Chui, M., Allas, T., Dahlström, P., ... & Trench, M. (2018). *Artificial intelligence: The next digital frontier?* McKinsey Global Institute.
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>
- Cao, L. (2014). Business model transformation in moving to a cross-channel retail strategy: A case study. *International Journal of Electronic Commerce*, 18(4), 69–96.
- Cattaruzza, D., Absi, N., & Feillet, D. (2017). Vehicle routing problems with multiple trips. *4OR*, 15(3), 223–259.
- Chandna, V., & Salimath, M. S. (2018). Peer-to-peer selling in online platforms: A salient business model for virtual entrepreneurship. *Journal of Business Research*, 84, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.11.019>
- Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188. <https://doi.org/10.2307/41703503>
- Chi, N. T. K., & Nam, V. H. (2023). The impact of drone delivery innovation on customer intention: An empirical study in Vietnam. *VNU University of Economics and Business*, 3(2), 102–102. <https://doi.org/10.57110/vnujeb.v3i2.153>
- Choi, T. M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2018). Big data analytics in operations management. *Production and Operations Management*, 27(10), 1868–1883. <https://doi.org/10.1111/poms.12838>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7. Baskı). Pearson Education.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5th ed.). Pearson.
- Colla, E., & Lapoule, P. (2012). E-commerce: Exploring the critical success factors. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 40(11), 842–864.
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- Davenport, T. H., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(1), 24–42.
- Eğilmez, G. (2024). *Sürdürülebilir akıllı lojistik*. Duvar Yayınları.
- Enriquea, D. V., Druczkoskia, J. C. M., Limaa, T. M., & Charrua-Santos, F. (2021). Advantages and difficulties of implementing Industry 4.0 technologies for labor flexibility. *Procedia Computer Science*, 181, 347–352.
- Figliozi, M. A. (2020). Autonomous delivery robots and their potential impacts on urban freight energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102460. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.159>
- Fosso Wamba, S., Dubey, R., Gunasekaran, A., & Akter, S. (2021). The performance effects of big data analytics and supply chain ambidexterity: The moderating effect of environmental dynamism. *International Journal of Production Economics*, 222, 107498. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.019>
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling*. McGraw-Hill Education.
- Gantz, J., & Reinsel, D. (2012). The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the Far East. *IDC*.
- Genç, E., & Tunalı, İ. (2022). Endüstri 4.0 ve lojistik 4.0 kapsamında akıllı depo sistemleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 194–215.

- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelslender, T. (2014). Cost modelling and simulation of last-mile characteristics in an innovative B2C supply chain environment with implications on urban areas and cities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 398–411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1483>
- GilPress. (2013). A very short history of big data. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/05/09/a-very-short-history-of-big-data/> (Erişim Tarihi: 5 Şubat 2025).
- Goodchild, A., & Toy, J. (2018). Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2 emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.017>
- Gu, Y., & Dong, S. (2016). Logistics cost management from the supply chain perspective. *Journal of Service Science and Management*, 9, 229–232. <https://doi.org/10.4236/jssm.2016.93028>
- Hübner, A., Holzapfel, A., & Kuhn, H. (2015). Operations management in multi-channel retailing: An exploratory study. *Operations Management Research*, 8(3/4), 84–100.
- Hübner, A., Kuhn, H., & Wollenburg, J. (2016). Last mile fulfilment and distribution in omni-channel grocery retailing. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(3), 228–247. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-11-2014-0154>
- Ishfaq, R., Defee, C. C., Gibson, B. J., & Raja, U. (2016). Realignment of the physical distribution process in omni-channel fulfillment. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(6/7), 543–561.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904–2915. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1750727>
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829–846. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>
- Joerss, M., Schröder, J., Neuhaus, F., Klink, C., & Mann, F. (2016). *Parcel delivery: The future of last mile*. McKinsey & Company Report, 1–32.
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Kaisler, S., Armour, F., Espinosa, J. A., & Money, W. (2013). Big data: Issues and challenges moving forward. In *46th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 995–1004).
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 101967.
- Kembro, J., & Norrman, A. (2019). Exploring trends, implications and challenges for logistics information systems in omni-channels: Swedish retailers' perception. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 47(4), 384–411.
- Kostrzewski, M., Abdelatty, Y., Eliwa, A., & Nader, M. (2022). Analysis of modern vs. conventional development technologies in transportation—The case study of a last-mile delivery process. *Sensors*, 22(24), 9858. <https://doi.org/10.3390/s22249858>
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>

- Laudon, K. C., & Traver, C. G. (2021). *E-commerce: Business, technology, society*. Pearson.
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M. S., & Kruschwitz, N. (2010). Big data, analytics and the path from insights to value. *MIT Sloan Management Review*, 52(2), 21–32.
- Lim, S. F. W. T., Jin, X., & Srai, J. S. (2018). Consumer-driven e-commerce and last-mile logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 308–332. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0081>
- Loshin, D. (2013). *Big data analytics: From strategic planning to enterprise integration with tools, techniques, NoSQL, and graph*. Morgan Kaufmann.
- Mahar, S., Wright, P. D., Bretthauer, K. M., & Hill, R. P. (2014). Optimizing marketer costs and consumer benefits across ‘clicks’ and ‘bricks’. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 42(6), 619–641.
- Mangiaracina, R., Perego, A., Seghezzi, A., & Tumino, A. (2019). Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 49(9), 901–935.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: The management revolution. *Harvard Business Review*, 90(10), 60–68.
- McKinsey Global Institute. (2018). *Analytics comes of age*. <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Analytics/Our%20Insights/Analytics%20comes%20of%20age/Analytics-comes-of-age.ashx> (Erişim Tarihi: 10 Şubat 2025).
- Moroz, M., & Polkowski, Z. (2016). The last mile issue and urban logistics: Choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online. *Transportation Research Procedia*, 16, 378–393. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.036>
- Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015). Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54, 86–109. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.005>
- Narkhede, G. B., Pasi, B. N., Rajhans, N., & Kulkarni, A. (2024). Industry 5.0 and sustainable manufacturing: A systematic literature review. *Benchmarking: An International Journal*.
- Nguyen, T., Zhou, L., Spiegler, V., Ieromonachou, P., & Lin, Y. (2020). Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review. *Computers & Operations Research*, 119, 104898. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.07.004>
- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). Predicting the future—big data, machine learning, and clinical medicine. *New England Journal of Medicine*, 375(13), 1216–1219. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181>
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A review of last-mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, 10(3), 782. <https://doi.org/10.3390/su10030782>
- Riahi, Y., Saikouk, T., Gunasekaran, A., & Badraoui, I. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions. *Expert Systems with Applications*, 173, 114702. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114702>
- Russom, P. (2011). *Big data analytics*. TDWI Best Practices Report, 4th Quarter, 1–35.
- Sanders, N. R. (2016). How to use big data to drive your supply chain. *California Management Review*, 58(3), 26–48. <https://doi.org/10.1525/cmr.2016.58.3.26>

- Sarkis, J. (2017). Green supply chain management: The role of logistics service providers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 98, 39–50. <https://doi.org/10.4324/9781315233000>
- Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). 50th anniversary invited article—City logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579–590. <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0675>
- Sharma, R., Kamble, S. S., & Gunasekaran, A. (2020). Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: A literature review identifying the current trends and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.001>
- Sternberg, H., & Andersson, M. (2014). Decentralized intelligence in freight transport—A critical review. *Computers in Industry*, 65(2), 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.011>
- Tiwari, S., Wee, H. M., & Daryanto, Y. (2018). Big data analytics in supply chain management between 2010 and 2016: Insights to industries. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.017>
- Tunji-Olayeni, P., Aigbavboa, C., Oke, A., & Chukwu, N. (2024). Research trends in industry 5.0 and its application in the construction industry. *Technological Sustainability*, 3(1), 1–23.
- Turban, E., Outland, J., King, D., Lee, J. K., Liang, T. P., & Turban, D. C. (2018). Electronic commerce payment systems. *Electronic Commerce 2018: A Managerial and Social Networks Perspective*, 457–499.
- Vakulenko, Y., Hellström, D., & Hjort, K. (2018). What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last-mile delivery. *Journal of Business Research*, 88, 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.11.033>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>
- Wang, X., & Disney, S. M. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 691–701. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.022>
- Wang, X., Zhan, L., Ruan, J., & Zhang, J. (2018). How to choose “last mile” delivery modes for e-fulfillment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, Article ID 8437649. <https://doi.org/10.1155/2014/417129>
- Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019a). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains?. *International Journal of Production Economics*, 211, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002>
- Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2019b). Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 62–84.
- White, T. (2012). *Hadoop: The definitive guide*. O'Reilly Media.
- 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 chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>
- Wollenburg, J., Hübner, A., Kuhn, H., & Trautrim, A. (2018). From bricks-and-mortar to bricks-and-clicks: Logistics networks in omni-channel grocery retailing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(4), 415–438.
- Zakir, J., Seymour, T., & Berg, K. (2015). Big data analytics. *Issues in Information Systems*, 16(2), 81–90.
- Zhang, Y. (2019, October). The application of artificial intelligence in logistics and express delivery. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1325, No. 1, p. 012085). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1325/1/012085>
- Zhong, R. Y., Newman, S. T., Huang, G. Q., & Lan, S. (2016). Big data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 572–591. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.013>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/j.ENG.2017.05.015>
- Zhou, L., Chong, A. Y. L., & Ngai, E. W. (2015). Supply chain management in the era of the internet of things. *International Journal of Production Economics*, 159, 1–3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.014>
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>