

## Lojistikte Yeni Paradigmalar: Endüstri 4.0 ve Dijitalleşme

Fatmanur Avar Çalışkan<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışma, lojistik sektöründe Endüstri 4.0 ve dijitalleşmenin getirdiği yeni paradigmalara odaklanmaktadır. Dijital dönüşüm, işletmeler açısından büyük bir değişimi ifade ederken, lojistik süreçlerin de daha verimli ve esnek hale gelmesini sağlamakta, maliyetleri azaltırken, operasyonel hızı arttırmaktadır. Endüstri 4.0 dijital dönüşümünün etkileri lojistik sektöründe kendini otomasyon, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve Nesnelerin İnterneti gibi araçlar ile ortaya koymaktadır. Dron, robot ve çeşitli otonom araçlar lojistik operasyonlarında daha fazla esneklik ve hız sağlayan çözümler arasında kendini göstermektedir. Blok zinciri gibi teknolojiler ise tedarik zinciri süreçlerinde şeffaflık ve güvenliği artırmak için önemli bir araç teşkil etmektedir. Dijitalleşmenin, lojistik sektöründe verimlilik artışı, maliyet azaltımı ve sürdürülebilirlik boyutlarını destekleme gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada, lojistikte dijitalleşmenin mevcut ve gelecekteki etkileri tartışılmakta, sektördeki yenilikçi çözümler ve iş modellerinden örnekler sunulmaktadır. Ayrıca, dijitalleşmenin sektör için sunduğu fırsatlar ve zorluklar, stratejik önerilerle birlikte belirtilmektedir.

### 1. Giriş

Modern teknolojiler günümüz dünyasında yalnızca çeşitli endüstrilerde değil, günlük yaşamda da sürekli geliştirilmekte ve uygulama alanı bulmaktadır. Bu durum işletmelere müşteri ihtiyaçlarını karşılama ve rekabet avantajını sürdürme ile ilgili potansiyel avantaj ve zorlukları beraberinde getirmekte ve tüm sektörleri dijitalleşme yoluna doğru yönlendiren itici gücü oluşturmaktadır (Szymańska, Adamczak ve Cyplik, 2017). Tüm bu gelişmeler, tüm sektörler gibi lojistik endüstrisini de derinden etkilemekte, son yıllarda hızla dijitalleşen ve teknoloji ile şekillenen bir alan olarak dikkat

1 Öğr. Gör. Dr., İzmir Kavram Meslek Yüksekokulu, fatmanur.avar@kavram.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5831-908X>

çekmesine yol açmaktadır. Ekonominin küreselleşmesi, dünyanın artık neredeyse tek bir pazar olarak kabul edilmesi ve artan müşteri talepleri lojistik süreçlerinin daha hızlı, verimli ve esnek hale gelmesini zorunlu kılmaktadır (Özdemir ve Özgüner, 2018). Bu bağlamda, dijitalleşme ve Endüstri 4.0, lojistik sektöründe önemli bir dönüşüm sürecini tetiklemiş, sektördeki iş yapış şekillerini köklü bir şekilde değiştirmiştir. Dijitalleşme ve otomasyonun birleşimi ile ortaya çıkan Endüstri 4.0'ın lojistikte yarattığı etki iş süreçlerinin her aşamasında hissedilmektedir.

Endüstri 4.0 terimi ilk olarak, 2011 yılında Almanya'da düzenlenen bir ticaret fuarında kullanılmış olup, dijital dönüşüme atıfta bulunan dördüncü sanayi devrimini ifade etmektedir (Maslarić, Nikolić ve Mirčetić, 2016). Endüstri 4.0 içinde makineler arası iletişim (M2M), nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ (AI), robot teknolojileri, büyük veri analitiği, bulut bilişim, otonom sistemler ve blok zinciri gibi teknolojileri barındırır. Ağırıklı olarak üretim alanındaki teknolojileri kapsayan bu devrim, lojistik sistemlerinin yönetilmesi, geliştirilmesi ve uygulanmasını içerir (Richnák, 2022). Özellikle tedarik zincirinde daha doğru ve hızlı kararlar alınmasını sağlayan Endüstri 4.0 teknolojileri, iş süreçlerinde izlenebilirlik, şeffaflık ve güvenliği artırarak operasyonel verimliliği maksimum düzeye çıkarmaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın sunduğu dijitalleşme çözümleri, lojistik sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada da önemli bir alanı teşkil etmektedir. Lojistik, özellikle enerji tüketimi ve karbon salınımı gibi çevresel etkiler açısından olumsuz yönde anılan endüstrilerin başında gelmekte, dijitalleşme ise bu alandaki olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Akkad ve Bányai, 2020).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistik sektörüne uyarlanışını içeren lojistik 4.0, bağımsız üyeler arasındaki ilişkili süreçler ve otonom sistemleri içerir (Szymańska, Adamczak ve Cyplik, 2017). Ayrıca, süreç otomasyonu, işbirliği ve Endüstri 4.0 desteği ile tedarik zinciri süreçlerini teknik ve süreçsel açıdan destekleyen araçları ifade eder (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Lojistik 4.0, tedarik zinciri üyelerinin verimlilik ve performansını artırmayı hedefler ve merkeziyetsiz karar alma yapıları üzerine kuruludur. Avantajları arasında iş gücü tasarrufu, yüksek standartlaşma, hizmetlerde kalite artırımı ve yeni teknolojilerin kullanımı öne çıkmaktadır (Radivojević ve Milosavljević, 2019).

Birçok avantajının yansısı Endüstri 4.0, lojistik sektörüne bazı zorlukları da getirmiştir. Bu dezavantajların arasında uygulama maliyeti, gelişmiş bilgi teknolojileri donanımı ve süreç odaklı yönetim yöntemlerinin uygulanmasına yönelik katı gereksinimler, veri erişiminde zorluklar, şirketler

arasında düşük farkındalık, entegrasyon için zorlu gereksinimler ve sınırsız veri analizi için gelişmiş teknolojilere ihtiyaç yer almaktadır (Oleśków-Szłapka ve Stachowiak, 2019). Esasen bu zorlukların birçoğu Endüstri 4.0 dijital dönüşümüne girmeden önce firmalar tarafından uygulanması gereken teknik ve organizasyonel çözümleri içermektedir. Dezavantajları azaltmak ve dönüşümün faydalarından yararlanmak için Lojistik 4.0 çözümlerinin uygulanması zorunludur; ancak, ileri düzey bilgi ve yüksek teknolojiye dayalı olması süreci karmaşık hale getirmektedir. Bu bağlamda, bilgiyi tanımlama, benimseme ve kullanma yeteneği, şirketler için sürdürülebilir rekabet avantajının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır (Demiral, 2021). Bu ekseninde söz konusu çalışmada, lojistik sektöründe dijitalleşmenin Endüstri 4.0 ile entegrasyonunun getirdiği fırsatlar, zorluklar ve sektöre etkileri derinlemesine ele alınacak ve gelecekteki yönelimler tartışılacaktır.

## 2. Endüstri 4.0 ve Dijital Dönüşüm: Kavramsal Çerçeve

Üretim ve hizmet sektörleri, geçmişteki sanayi devrimlerinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Bu devrimlerin getirdiği hızlı değişiklikler, şirketlerin üretkenliklerini artırmalarına olanak sağlamıştır (Demir, Paksoy ve Kochan, 2020). Bu hızlı değişim, sanayi interneti, siber-fiziksel sistemler, uyarlanabilir robot teknolojileri, siber güvenlik, veri analitiği, yapay zekâ ve eklemeli üretim gibi yeni kavramlara uyum sağlamak gibi yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bu ortaya çıkan teknolojiler, Endüstri 4.0'ın doğuşunu kolaylaştırmış ve hızlandırmıştır (Ustundag, vd., 2018). Bu devrimler, buhar makinesinden dijital otomatik üretime kadar üretim süreçlerinde köklü değişikliklere yol açmış, giderek daha karmaşık, otomatik ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin gelişmesine neden olmuştur. Endüstri 4.0 girişimi, daha verimli üretim sistemleri uygulama potansiyeli sayesinde büyük ilgi görmüştür. Bu girişim, yüksek potansiyeli nedeniyle birçok kişi tarafından Dördüncü Sanayi Devrimi olarak kabul edilmiştir. Endüstri 4.0'da, sensorlar, cihazlar ve kurumsal kaynaklar gibi fiziksel öğelerin internetle bağlantısı, sanayi üretiminin temel özelliklerinden biridir. Nesnelerin İnterneti (IoT) bağlamı, veriye dayalı yapısı sayesinde müşterilerin daha uygun ve değerli kararlar almasına olanak tanımaktadır (Alexopoulos vd., 2016).

Sanayi devrimlerine bakıldığında, Birinci Sanayi Devrimi, 18. yüzyılın sonlarında İngiltere'de başlayan, buhar gücünün ve mekanik makinelerin üretimde kullanılmaya başlanmasıyla şekillenen bir dönüm noktası olduğunu söylemek mümkündür. Bu devrim, el işçiliğinden makineli üretime geçişi sağlayarak, tekstil, demir ve kömür endüstrilerinde büyük üretim artışları yaşanmasına ve kentleşmeye yol açtı. Aynı zamanda iş gücü

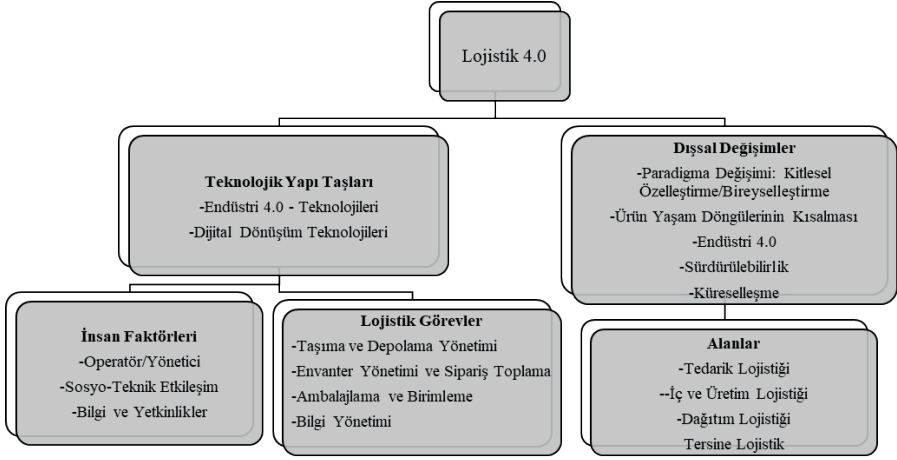
ve üretim yöntemlerinde köklü değişiklikler meydana geldi (Parashar, vd., 2023). İkinci Sanayi Devrimi, 1870 ile 1914 yılları arasında yaşanmış ve bilim ile teknolojinin karşılıklı etkileşimini artırarak önemli yeniliklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Elektrik ve içten yanmalı motorlar gibi devrim niteliğinde teknolojiler üretim süreçlerini dönüştürmüş, ancak elektrik gibi yenilikler başlangıçta yavaş bir şekilde kabul edilmiştir. Modern ulaşım ve iletişim araçları, kitlesel üretim ve dağıtım sistemlerinin gelişmesini sağlamış, ancak, teknolojik geçişlerde yaşanan yavaşlık firmaların eski teknolojilere alışma sürecini uzatarak, yeni teknolojilere geçişi geciktirmiştir (Demir, Paksoy ve Kochan, 2020). Üçüncü Sanayi Devrimi, 1950'lerin sonlarına doğru ABD şirketlerinin uluslararası alanda genişlemesiyle başlamış, mikroişlemciler, bilgisayarla destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM), fiber optik, biyoteknoloji, lazerler ve holografi gibi yeniliklerle şekillenmiştir. Bu dönemde elektronik ve bilgi teknolojileri üretimi otomatikleştirmeye yardımcı olmuş, programlanabilir otomasyon, robot teknolojisi ve esnek üretim sistemleri, üretim süreçlerinde yüksek seviyede otomasyonu mümkün kılmıştır (Cañas, vd., 2021). Bu gelişmeler, üretim kalitesini artırarak verimliliği yükseltti, maliyetleri düşürdü ve işyerlerinde güvenliği sağlamıştır (Demir, Paksoy ve Kochan, 2020).

### 3. Lojistik 4.0: Dijitalleşen Lojistik Süreçleri

Lojistik 4.0, dijitalleşmenin lojistik süreçlere entegre edilmesiyle ortaya çıkan yeni bir iş modeli ve teknoloji uygulamaya dair bir yaklaşımdır (Glistau ve Coello Machado, 2018). Bu bölümde, dijitalleşmenin lojistik süreçlerde otomasyon, yapay zekâ, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler aracılığıyla yarattığı dönüşüm ele alınacaktır. Ayrıca, bu dönüşümün sağladığı avantajlar, karşılaşılan zorluklar ve lojistik süreçlerde kullanılan yenilikçi uygulamalar detaylandırılacaktır.

#### 3.1. Lojistik 4.0 Nedir?

Şekil 1, Oliveira ve Martins (2011) tarafından başlangıçta teknoloji benimsenmesinin detaylı bir analizi amacıyla geliştirilen Teknoloji-Organizasyon-Çevre (TOE) çerçevesinden uyarlanarak oluşturulan Lojistik 4.0'ın kavramsal çerçevesini sunmaktadır (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Bu şekilden yola çıkılarak Lojistik 4.0'ın detaylı tanımı yapılacak ve öğeleri açıklanacaktır.



*Şekil 1: Lojistik 4.0 Temel Çerçevesi*

*Kaynak: Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. International Journal of Production Research, p. 21.*

Şekil 1’de yer alan Lojistik 4.0 çerçevesi temelde üç boyuttan oluşmaktadır. Dışsal değişimler boyutu, müşterilerin kişiselleştirilmiş ve yüksek kaliteli ürün talepleri, Endüstri 4.0 gelişmeleri ile küreselleşme ve sürdürülebilirlik konularına ilişkin unsurlar tarafından tetiklenen köklü değişimleri içermektedir. Ayrıca, bu boyut toplumlardaki değişimleri, örneğin, yeni iş-yaşam dengelerine yönelik dönüşümleri kapsar. Bu yeni talepler, ‘4.0’ sistemlerine yönelik bir talep çekiş perspektifi olarak değerlendirilebilir. İkinci boyut, teknolojik yapı taşlarından oluşur ve geleneksel lojistik sistemlerinden Lojistik 4.0’a geçişi sağlayan teknolojik gelişmeleri kapsar. Bu gelişmeler, başta Endüstri 4.0’ın itici güçleri olmak üzere, dijital dönüşüm BD, bulut bilişim ve sosyal medya gibi ek teknolojilerle desteklenir. Üçüncü boyut, lojistiği insan faktörleriyle ilişkilendirir. Lojistik, görevler (yönetim ve yürütme), alanlar (tedarik, üretim içi/üretim, dağıtım ve ters lojistik) ve insan faktörlerinden etkilenir. İnsanlar, lojistik süreçlerin verimliliğini ve kalitesini belirler; fiziksel ve psikososyal etkileşimler, insan kararları ve motivasyon bu süreçlere yön verir. Lojistik 4.0’da insanlar makinelerle tamamen ikame edilmeyip, yeni teknolojilerle desteklenen insan-makine işbirliğiyle çalışacaklardır (Kagermann, vd., 2013).

Lojistik 4.0, üç boyutun etkileşiminin bir sonucudur ve bu etkileşim tüm unsurların entegrasyonunu sağlar. Dışsal değişimler, bir yandan yeni talepleri karşılamak için yeni teknolojilerin kullanımını teşvik ederken, diğer yandan bu yeni teknolojiler, taleplerin karşılanmasını veya yeni taleplerin

ortaya çıkmasını sağlayabilir. Dışsal değişimler, lojistik süreçlerin ve farklı alanların işleyişinde değişikliklere yol açarak, lojistik görevlerinde de bir dönüşüm yaratabilir. Aynı şekilde, teknolojik gelişmeler de lojistik görevleri ve insan faktörleriyle etkileşimde bulunur.

Temel lojistik 4.0 bileşenleri ve teknolojilerine bakıldığında en önemlileri aşağıda yer alan teknolojilerdir (Radivojević ve Milosavljević, 2019) :

**Nesnelerin İnterneti (IoT):** Nesnelerin kimlik tespiti, iletişimi ve yönetimini sağlayan modern ICT teknolojilerini kullanır ve akıllı nesneler oluşturarak, süreçlerin gerçek zamanlı yönetilmesini mümkün kılar. Lojistikte, IoT çözümleri akıllı konteynerler, araçlar, paletler ve altyapılar gibi unsurları içerir ve tüm katılımcılar arasında küresel bağlantıyı sağlar (Radivojevic, Bjelic ve Popovic, 2019).

**Bulut Bilişim:** İnternet üzerinden talep üzerine bilişim kaynaklarına erişim sunar ve esneklik, geniş erişim ve kaynakların paylaşarak kullanılmasını sağlar. Bu sayede lojistik şirketleri, BT altyapısı ve yazılımına yatırım yapmadan daha hızlı ve verimli tedarik zinciri çözümleri elde edebilir (Mladenović, 2018).

**Büyük Veri (Big Data):** Geleneksel araçlarla işlenemeyen büyük veri setlerinin depolanması, iletilmesi ve analizi için kullanılan teknolojilerdir. Veri madenciliği ve analiz yöntemleriyle, işletmeler gizli bilgiler keşfederek, eğilimleri tahmin edebilir ve karar alma süreçlerini iyileştirebilir, yeni iş modelleri geliştirebilir.

**Blok Zinciri:** Verilerin zincir halinde bağlandığı merkeziyetsiz bir sistemdir, bu da iş işlemlerinde şeffaflık, güvenlik ve güvenilirlik sağlar. Lojistikte, blok zinciri izleme, sözleşme otomasyonu ve maliyet tasarrufu sağlar, küresel ticaretin daha verimli hale gelmesine olanak tanır.

**Kablosuz Sensör Ağları (WSN):** Sensörler aracılığıyla veri toplama ve iletme imkânı sunar, bu sayede mallar, araçlar ve altyapı izlenebilir. Örnekler arasında araç yükü ölçümü, malların kalite kontrolü ve çalışan güvenliğini artırmak için sensörlü giysiler yer alır (Kückelhaus ve Chung, 2018).

**Robotlar ve otomasyon:** Üretim süreçlerinde kaliteyi artırarak, hata oranlarını azaltır, iş gücü ve maliyetleri düşürür. Lojistikte robotların kullanımı, malların toplanması, sıralanması, konteynerlerin boşaltılması gibi işlemleri içerir. Ayrıca, teslimat araçlarında ürünlerin sıralanması ve kendi kendine teslimat gibi uygulamalara olanak tanır.

**Artırılmış Gerçeklik (AR):** Fiziksel ve dijital dünya arasındaki sınırları kaldırarak, kullanıcılara dijital dünyadan gelen bilgilerle genişletilmiş bir

gerçeklik sunar. AR, lojistikte akıllı gözlükler kullanılarak depo işlemleri, malzeme taşıma ve teslimat süreçlerinde bilgi sağlayabilir.

**İnsansız Hava Araçları (Drone'lar):** Geleneksel taşımacılığı değiştirmese de, uzak ve tehlikeli bölgelerde güvenli operasyonlar için kullanılır. Lojistikte, malzeme taşımacılığı ve ürün teslimatı gibi iç lojistik işlemlerde, depolarda ürün kontrolü ve araç takibi gibi uygulamalarda kullanımları yaygınlaşmaktadır.

**Üç Boyutlu (3D) Baskı:** Üç boyutlu nesnelere oluşturulmasını sağlayan bir teknolojidir ve lojistik süreçlere büyük etkilerde bulunma potansiyeli taşır. Yeni tedarik zinciri stratejilerinin gelişmesini ve şirketlerin, 3D baskı ile kişiselleştirilmiş ürünler sunmasını mümkün kılacaktır ve bunun sonucunda stok maliyetleri azalacaktır.

**Otomatik Yönlendirilmiş Araçlar (AGV):** Sensör ve yapay zekâ teknolojileriyle çalışan, insan müdahalesi gerektirmeyen araçlardır. Lojistikte, bu araçlar yük taşıma, ürün yerleştirme ve üretim hattı gibi işlemler için kullanılır. Bu teknoloji ile maliyetler düşer, verimlilik artar ve iş güvenliği sağlanır.

### 3.2. Dijitalleşmenin Lojistik Operasyonlarına Etkisi

Dijitalleşme, bilgi ve iletişimin her türlü bağlamda, kullanıcıya, cihaza ve erişim türüne bakılmaksızın her zaman ve her yerde erişilebilir olmasını mümkün kılar (Kayıkci, 2018). Bilgi ve işlemler daha verimli bir şekilde toplanıp işlendiğinde, sistemler belli bir seviyede zeka ile donatıldığında ve bu sistemler birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla etkileşimde bulundukça, bir ağın; tüm bir tedarik zincirinin ya da belirli bir lojistik sürecin dijitalleşme düzeyi artar. Modern organizasyonların dijital dönüşümü, üretim süreçlerinin yanı sıra diğer zincirlerinin organizasyonu ve ürün yaşam döngüsünün yönetimini dijital teknolojilerle daha verimli bir hale getirmeyi amaçlar (Korchagina, vd., 2020). Bu süreç, dijital teknolojilerin entegrasyonu ile üretim ve lojistik yapıların daha esnek ve uyumlu hale gelmesini sağlar. Akıllı fabrika, dijital dönüşümün temel unsurlarından biri olarak öne çıkar. Dijital fabrika kavramı, ürün geliştirme süreçlerinin dijitalleşmesi, esnek üretim sistemlerinin ve lojistik altyapılarının kullanımı, tedarik zincirinde akıllı çözümlerle entegrasyon ve bu süreçlerin optimize edilmesi üzerine kuruludur.

Dijital teknolojilerle kurulan lojistik ağları, şirketlere müşterilerine daha hızlı ve şeffaf hizmet sunabilme yeteneği kazandırarak rekabet avantajı sağlar. Bu sayede şirketler, artan dayanıklılık ve esneklikle birlikte daha hızlı tepki verme yeteneğine sahip olur (Schrauf ve Bertram, 2016). Büyük veri

gibi analitik teknolojiler sayesinde büyük miktarda lojistik verisi elde edilir ve bu verilere uygulanan ileri düzey algoritmalar, şirketlerin maliyetleri düşürmelerine, kârlarını artırmalarına ve çevresel etkileri en aza indirerek daha verimli bir şekilde faaliyet göstermelerine olanak tanır. Lojistikte dijitalleşme, işbirliği, bağlantılı olma, uyum sağlama, entegrasyon, otonom kontrol ve bilişsel iyileştirme gibi altı temel özelliği içerir. Mobil teknolojiler, bulut bilişim, sensorlar, artırılmış gerçeklik, üç boyutlu baskı, veri analitiği, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve diğer dijital teknolojilerin lojistik süreçlere kapsamlı bir şekilde entegrasyonu, çeşitli imkânlar sunmaktadır (Schrauf ve Bertram, 2016). Bu imkanlar arasında entegre planlama ve yürütme sistemleri, lojistik görünürlüğü, otonom lojistik, akıllı tedarik ve depolama, yedek parça yönetimi ve gelişmiş veri analitikleri yer alır (Kayıkci, 2018). Bu altı özellik ve mevcut teknolojilerle tasarlanmış dijital lojistik sistemi, lojistik operasyonlarını yönetmek ve senkronize etmek için önemli avantajlar sunar. Bunlar arasında tedarik zinciri boyunca gerçek zamanlı şeffaflık, artırılmış görünürlük ve verimlilik, büyük veri analitiği ile optimizasyon, bulut bilişimle cihaz bağımsız veri toplama, otonom karar alma, işbirliği için akıllı kullanıcı ara yüzleri, gelişmiş otomasyon ve artırılmış gerçeklik çözümleri yer alır. Bu unsurlar, süreçleri daha verimli ve hatasız hale getirir, aynı zamanda tüketici deneyimini iyileştirir (Razumova ve Levina, 2019). Ayrıca, bu dijital teknolojiler, şirketlerin tedarik zincirindeki aksaklıklara hızlı bir şekilde tepki verebilmelerini, lojistik süreçlerdeki değişimlere uyum sağlamalarını ve olası riskleri tahmin etmek için senaryo analizleri ile sistem modelleri oluşturmalarını mümkün kılar (Owen, 2006).

### 3.3. Lojistikte Teknolojik İnovasyonlar

Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikçi çözümler, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerini köklü bir şekilde dönüştürmektedir. İnsan gücüne dayalı operasyonlar hızla otonom araçlar ve robotlarla değiştirilmektedir (Bakan ve Şekkel, 2016). Küresel rekabetin yoğun olduğu lojistik sektörü, bu yeniliklerden doğrudan etkilenmektedir. Doğru yatırımları yapmak ve bu yatırımlardan verimli sonuçlar elde etmek, sektörde sürdürülebilir başarı için kritik öneme sahiptir. Lojistik inovasyonu, lojistik süreçlere yönelik yeni fikirlerin geliştirilmesi ve uygulanması yeteneğidir. Bu fikirler, mevcut hizmetleri daha verimli hale getirmek, çözüm bekleyen sorunları ele almak veya karşılanmamış ihtiyaçları gidermek için kullanılabilir. Güçlü bir inovasyon yeteneği, işletmelere rakipler tarafından kolayca taklit edilemeyecek bir avantaj sağlar ve uzun vadede rekabet üstünlüğü kazandırır. İşletmeler bu doğrultuda Ar-Ge çalışmalarına yatırım yaparak yenilikçi çözümler geliştirmeyi hedeflemektedir (Akkaya ve Kaya, 2019).



Büyük veri, lojistik süreçlerdeki karmaşık ve geniş veri yığınlarını analiz ederek operasyonel verimliliği artırmayı mümkün kılar. Rotalama optimizasyonu, stok yönetimi ve talep tahmini gibi süreçler, büyük veri analitiği ile daha hassas ve hızlı bir şekilde yönetilebilir (Ma ve Chang, 2024). Bu teknolojiler, lojistik şirketlerine stratejik avantaj sağlamanın yanı sıra maliyetleri düşürme ve müşteri memnuniyetini artırma fırsatı sunar.

Yapay zekâ (YZ), lojistik süreçlerinde devrim yaratacak potansiyele sahiptir. YZ destekli çözümler, veri analitiği ve otomasyon süreçlerini optimize ederek tedarik zincirindeki görünürlük ve esnekliği artırır. YZ, tahmine dayalı analizler yaparak tedarik zinciri kararlarını daha hızlı ve doğru bir şekilde destekler. Ancak, YZ'nin adaptasyonu sırasında IT sistemlerinin uyumluluğu, veri güvenliği ve kaliteli veri eksikliği gibi sorunlar sıkça yaşanmaktadır. Bu zorluklara rağmen, YZ destekli teknolojiler lojistik operasyonlarında verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu sağlayarak endüstrinin dönüşümüne öncülük etmektedir (Boute ve Udenio, 2022).

Blok zinciri teknolojisi, tedarik zincirinde şeffaflık ve güvenlik sağlama noktasında büyük bir potansiyel taşır. Bu teknoloji, verilerin değiştirilemez ve izlenebilir bir şekilde kayıt altına alınmasını mümkün kılarak, tedarik zincirindeki güven sorunlarını en aza indirir. Blok zinciri, özellikle tedarik zincirinde dolandırıcılığı önleme, ürünlerin kaynağını doğrulama ve tedarik süreçlerini hızlandırma konularında etkili çözümler sunmaktadır. Ancak, bu teknolojinin adaptasyonu sırasında yüksek maliyetler ve teknik altyapı eksiklikleri gibi engellerle karşılaşmaktadır. Blok zincirinin doğru uygulaması, tedarik zincirinin güvenilirliğini artırarak rekabet avantajı sağlar (Hackius ve Petersen, 2017).

Bu yenilikler, lojistik sektörünün dijitalleşme sürecinde hızla uyum sağladığı ve sektörü dönüştürdüğü teknolojik kilometre taşlarıdır.

#### 4. Dijitalleşmenin Avantajları ve Zorlukları

Dijitalleşme, toplumları ve işletmeleri dönüştüren temel eğilimlerden biri olarak öne çıkmakta ve dijital teknolojilerin kuruluşlar ile operasyonel süreçlerde kullanılması, şirketlerde önemli değişimlere neden olmaktadır (Parviainen, vd., 2017). Ancak bu dönüşüm, çeşitli avantajları beraberinde getirirken, aynı zamanda uygulanması ve sürdürülmesi sürecinde birtakım zorlukları da barındırmaktadır. Bu bölümde, dijitalleşmenin lojistik süreçler üzerindeki olumlu etkileri ile karşılaşılan temel zorluklara odaklanılacaktır.

#### 4.1. Dijitalleşmenin Avantajları

Dijitalleşme, lojistik sektörünün dönüşümünü sağlayan en önemli itici güçlerden biridir. Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, geleneksel lojistik süreçler yerini veri odaklı, esnek ve daha dinamik yapılarla bırakmaktadır (Remondino ve Zanin, 2022). Lojistik firmaları, dijital araç ve teknolojilerden yararlanarak operasyonel süreçlerini optimize etmekte, müşteri memnuniyetini artırmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine daha kolay ulaşabilmektedir. Bu avantajlar, dijitalleşmenin hem rekabet avantajı yaratan bir unsur olarak öne çıkmasını hem de lojistik operasyonlarının daha etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır (Burinskienė ve Daškevič, 2024).

Dijitalleşme, lojistik süreçlerde zaman ve kaynak yönetimini iyileştirerek operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır. Otomasyon teknolojilerinin yaygın kullanımı, manuel işlemleri azaltarak insan hatalarını minimize ederken, süreçlerin daha hızlı ve doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlar (Verbivska, vd., 2023). Depo yönetim sistemlerinden robotik çözümlere kadar uzanan teknolojiler, envanter takibinden sipariş işleme süreçlerine kadar pek çok alanda işletmelerin maliyetlerini düşürmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, rota optimizasyon yazılımları ve gerçek zamanlı takip sistemleri, lojistik süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesine olanak tanır.

Dijitalleşmenin getirdiği en önemli avantajlardan biri de tedarik zinciri süreçlerinde şeffaflığı artırmasıdır. Özellikle Blockchain teknolojisi, ürünlerin tedarik zinciri boyunca uçtan uca izlenmesini sağlayarak güvenliği artırmaktadır. Bu teknoloji, sahtecilik, veri manipülasyonu ve kayıpların önüne geçerken, süreçlerin her aşamasında tam bir görünürlük sunar (Doguchaeva, Zubkova ve Katrashova, 2022). Ayrıca, IoT tabanlı sensörler ve gerçek zamanlı veri analitiği, lojistik zincirindeki tüm paydaşların anlık bilgiye erişmesini mümkün kılar. Bu sayede, lojistik süreçlerdeki aksaklıklar veya gecikmeler hızla tespit edilip çözüme kavuşturulabilir.

Dijitalleşme, lojistik operasyonlarının çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir. Rota optimizasyon yazılımları ve enerji verimli araçların kullanımı, yakıt tüketimini azaltırken karbon emisyonlarının düşmesine katkı sağlar (Kayıkcı, 2018). Bunun yanı sıra, gelişmiş veri analitiği araçları, talep tahmininde daha isabetli sonuçlar elde edilmesini sağlayarak gereksiz üretim ve lojistik hareketlerini önler. Dijital teknolojilerin çevre dostu uygulamalarla entegre edilmesi, lojistik sektöründe çevresel sorumluluğun artırılmasına önemli bir katkı sunmaktadır (Kwilinski, Lyulyov ve Pimonenko, 2023).

## 4.2. Dijitalleşmenin Zorlukları

Dijitalleşme, lojistik sektörünün dönüşümünü sağlayan en önemli itici güçlerden biri olmakla birlikte, bu süreç aynı zamanda birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir. Teknolojik gelişmelerin hız kazanması, lojistik firmalarının geleneksel süreçlerini veri odaklı, esnek ve daha dinamik yapılarla değiştirmesine olanak tanırken, bu geçişin önündeki engeller, sektördeki birçok aktör için belirgin zorluklar yaratmaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşmenin getirdiği zorluklar, yalnızca finansal ve operasyonel değil, aynı zamanda organizasyonel ve güvenlik risklerine de yol açmaktadır (Baimukhanbetova vd., 2023).

Dijitalleşme sürecinin en belirgin zorluklarından biri, teknolojiye yapılan yatırımların yüksek maliyetidir. Özellikle Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 uygulamaları, yeni teknolojilere ve altyapılara yatırım yapmayı gerektirir. Bu tür yatırımlar, yüksek başlangıç maliyetleri ve işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerine uyum sağlamak için gerekli olan kaynakları da beraberinde getirir (Kern, 2021). Bununla birlikte, bu yatırımların uzun vadede operasyonel verimlilik, maliyet optimizasyonu ve süreç hızlanması gibi olumlu etkiler yaratabileceği ileri sürülmektedir. Bu nedenle, lojistik firmalarının dijitalleşme süreçlerini değerlendirirken yatırımın geri dönüşümünü (ROI) doğru bir şekilde analiz etmeleri gerektiği ifade edilmektedir.

Lojistik sektöründeki dijital dönüşüm, yalnızca teknolojik altyapı ile sınırlı kalmaz, aynı zamanda insan kaynağının da bu yeni süreçlere adapte olmasını gerektirir. Dijital araçların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çalışanların yeterli bilgi ve beceriye sahip olmaları şarttır. Bu bağlamda, eğitim ve geliştirme programlarının sektördeki dijitalleşme süreçlerine paralel olarak planlanması büyük önem taşır (Sezer, 2020). Yeterli eğitim ve sürekli beceri gelişimi sağlanmadığı takdirde, dijitalleşmenin etkileri sınırlı kalabilir.

Dijitalleşmenin bir diğer önemli zorluğu, veri güvenliği ve gizliliğidir. Lojistik sektöründe büyük miktarda verinin dijital platformlarda depolanması, bu verilerin korunması gerekliliğini de beraberinde getirir. Siber saldırılar, veri sızıntıları ve diğer güvenlik ihlalleri, şirketlerin itibarına ciddi zararlar verebilir ve maddi kayıplara yol açabilir. Özellikle müşteri verileri, lojistik bilgiler ve ticari sırlar gibi hassas verilerin dijital ortamlarda işlenmesi, güvenlik önlemlerinin güçlendirilmesini zorunlu hale getirir. Bu nedenle, dijitalleşme süreçlerinde veri güvenliği önlemlerinin ön planda tutulması ve sürekli güncellenen güvenlik protokollerinin uygulanması önerilmektedir (Kern, 2021).

## 5. Stratejik Yaklaşımlar ve Uygulama Örnekleri

Dijitalleşme süreci, yalnızca teknolojik dönüşümü değil, aynı zamanda stratejik bir vizyon ve planlama sürecini de gerektirmektedir. Lojistik firmaları, dijitalleşmenin sunduğu fırsatları en iyi şekilde değerlendirebilmek için hem teknolojik entegrasyona hem de organizasyonel dönüşüme odaklanmalıdır. Bu bölümde, dijitalleşme stratejilerinin lojistik sektöründe nasıl şekillendiği ve bu stratejilerin uygulamaya yansımaları ele alınmaktadır. Ayrıca, Türkiye’den ve dünyadan başarılı dijitalleşme örnekleri üzerinden bu stratejilerin etkileri incelenmiştir.

### 5.1. Dijitalleşme Stratejileri ve Uygulama Örnekleri

Dijitalleşme sürecinin başarısı, lojistik firmalarının bu süreci adım adım planlamasına bağlıdır. İlk adımda, mevcut iş süreçlerinin detaylı bir analizi yapılmalı ve dijitalleşmeye uygun alanlar belirlenmelidir (Korchagina, vd., 2020). Örneğin, depo yönetimi, rota optimizasyonu ve müşteri iletişimi gibi alanlar, dijital dönüşümden önemli ölçüde fayda sağlayabilir. Bunun yanı sıra, dijitalleşme stratejileri belirlenirken şu adımlar öne çıkmaktadır (Helmke, 2022):

**Dijitalleşme Yol Haritasının Belirlenmesi:** Firmanın kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerinin dijitalleşme süreciyle uyumlu hale getirilmesi.

**Kaynakların Etkin Yönetimi:** Teknolojik yatırım maliyetleri göz önünde bulundurularak bütçe ve kaynakların doğru şekilde tahsis edilmesi.

**Eğitim ve Gelişim Programları:** Çalışanların dijital teknolojilere uyum sağlaması için sürekli eğitim programlarının düzenlenmesi.

Türkiye’de lojistik sektöründe dijitalleşme süreçlerine yatırım yapan firmalar, sektörün dijital dönüşümüne öncülük etmektedir. Örneğin, bir Türk lojistik şirketi olan Ekol Lojistik, depo yönetiminde robotik otomasyon sistemlerini devreye sokarak operasyonel verimliliği artırmıştır (Ekol Lojistik, 2025). Ayrıca, blok zinciri tabanlı tedarik zinciri çözümleri ile süreç şeffaflığını sağlamış ve müşteri güvenini güçlendirmiştir. Borusan Lojistik, dijitalleşme kapsamında geliştirdiği eTA (Elektronik Taşımacılık Ağı) sistemini operasyonlarına entegre ederek taşımacılık süreçlerindeki belirsizlikleri azaltmayı hedeflemiştir (Borusan Lojistik, 2025). Bu sistem sayesinde teslimat süreleri daha öngörülebilir hale getirilmiş ve müşteri memnuniyetinde artış sağlanmıştır. Ayrıca, firma nesnelerin interneti (IoT) ve büyük veri analitiği çözümleri ile tedarik zinciri süreçlerini optimize etmektedir. Netlog, Türkiye’de gıda lojistiği alanında dijitalleşmeyi ön plana çıkarmış bir diğer firmadır (Netlog Lojistik, 2025). Şirket, soğuk

zincir taşımacılığında kullandığı akıllı sensor sistemleri sayesinde ürünlerin taşınma esnasında anlık olarak izlenmesini sağlamaktadır. Bu sistem, sıcaklık sapmalarını önleyerek gıda güvenliğinin korunmasına katkıda bulunmuştur.

Küresel ölçekte, dijitalleşme süreçlerini başarıyla uygulayan firmalar arasında DHL ve Maersk gibi lider lojistik şirketleri öne çıkmaktadır. DHL, lojistik süreçlerinde nesnelere interneti ve yapay zekâ teknolojilerini kullanarak veri analitiği temelli çözümler sunmaktadır (DHL, 2025). Bununla birlikte, Maersk, blok zinciri teknolojisini tedarik zinciri yönetiminde kullanarak şeffaflık ve güvenliğe odaklanmıştır (Maersk, 2025). Bu uygulamalar, dijitalleşmenin operasyonel etkinliği artırırken müşteri memnuniyetini nasıl güçlendirdiğini göstermektedir. E-ticaret devi Amazon, lojistik süreçlerinde dijitalleşmenin lider örneklerinden biridir. Şirket, teslimat süreçlerini optimize etmek için yapay zekâ ve veri analitiği kullanmakta ve otonom teslimat araçları geliştirmektedir (Amazon, 2025). Örneğin, Prime Air hizmeti kapsamında dron kullanımı ile kısa mesafelerde teslimat süreleri önemli ölçüde azaltılmıştır (Amazon, 2024). Bunun yanı sıra, akıllı depo sistemleri ve robotik çözümler, sipariş hazırlama süreçlerini büyük ölçüde hızlandırmıştır. İsviçre merkezli lojistik firması Kuehne + Nagel, büyük veri analitiği ve IoT çözümleriyle tedarik zinciri süreçlerini optimize etmektedir. Şirketin geliştirdiği myKN platformu, müşterilere gerçek zamanlı fiyat teklifi alabilme ve gönderi takibi yapma imkânı sunmaktadır (Kuehne Nagel, 2025). Ayrıca, karbon ayak izini azaltmak amacıyla dijital araçlar üzerinden sürdürülebilirlik odaklı çözümler geliştirmektedir.

## 6. Gelecekteki Eğilimler ve Fırsatlar

Dijitalleşmenin hız kesmeden ilerlemesi, lojistik sektörünün geleceğini şekillendiren yeni eğilim ve fırsatları da beraberinde getirmektedir. Endüstri 5.0'ın yükselişiyle birlikte, insan ve makine işbirliği öncelikli bir konu haline gelmekte, otomasyonun yanı sıra insan dokunuşunun da süreçlerde kritik bir rol oynayacağı öngörülmektedir (Adel, 2023). Bununla birlikte, akıllı lojistik sistemleri ve yapay zekâ destekli çözümler, lojistik süreçlerini daha öngörülebilir, verimli ve sürdürülebilir bir hale getirme potansiyeline sahiptir. Endüstri 5.0'ın odaklandığı beş ana eğilim şunlardır (Pizoñ ve Gola, 2023):

- Tedarik zincirinin değerlendirilmesi ve optimize edilmesi,
- İşletme yönetimi, inovasyon ve dijitalleşme,
- Akıllı ve sürdürülebilir üretim,
- Nesnelere interneti, büyük veri ve yapay zekâ odaklı dönüşüm,
- İnsan-makine entegrasyonu ve uyum

Akıllı lojistik sistemleri ve otomasyon, lojistik sektörünün geleceğini şekillendiren bir diğer önemli gelişmedir (Adesoga, vd., 2024). Bu sistemler, yapay zekâ, büyük veri, nesnelere interneti ve robotik teknolojilerin entegrasyonu sayesinde lojistik süreçleri daha akıllı, esnek ve verimli hale getirmektedir. Akıllı lojistik çözümleri, özellikle depolama, stok yönetimi, taşıma ve dağıtım süreçlerinde hız ve doğruluk sağlamakla birlikte, işletmelere maliyet avantajları da sunmaktadır. Otomasyonun artan rolü ile birlikte, lojistik firmaları işgücü maliyetlerini düşürmekte ve operasyonel hataları minimize etmektedir. Gelecekte, lojistikte daha fazla otonom araç kullanımı, robotik depolar, insansız hava araçları ile yapılan teslimatlar gibi teknolojilerle süreçler daha da otomatikleşecektir. Bu durum, hız, esneklik ve müşteri memnuniyeti açısından önemli iyileşmeler sağlayacaktır. Ancak, otomasyonun artan etkisiyle birlikte, insan işgücünün yeniden yapılandırılması ve yeni beceri gereksinimlerinin ortaya çıkması da kaçınılmaz olacaktır.

Küresel lojistik ve dijitalleşme, tedarik zincirlerini daha şeffaf, entegre ve verimli hale getirerek küresel ekonomiyi dönüştürmektedir (Nitsche ve Straube, 2023). Dijitalleşme, lojistik firmaları ve tedarik zincirindeki tüm paydaşlar arasındaki iletişim, veri paylaşımı ve işbirliğini güçlendirirken, blok zinciri ve IoT çözümleriyle güvenliği artırmakta ve ürünlerin izlenebilirliğini sağlamaktadır. Bu dijital çözümler, firmaların operasyonel verimliliklerini yükseltirken, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de ulaşmalarını sağlamaktadır. Dijitalleşmenin uzun vadeli etkileri, daha az kaynakla daha fazla değer üretmek, karbon ayak izini azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak gibi fırsatlar sunarken, lojistik sektörünü daha çevik, dinamik ve proaktif hale getirmektedir. Bu sayede firmalar, hem bugünün taleplerine hem de gelecekteki belirsizliklere daha hızlı yanıt verebilecek kapasiteye sahip olacaktır.

## 7. Sonuç ve Öneriler

Dijitalleşme, lojistik süreçlerinde verimlilik, hız ve esneklik sağlayarak sektördeki rekabet avantajlarını güçlendirmektedir. Teknolojik dönüşümün etkisiyle, lojistik firmaları daha şeffaf, entegre ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır. Özellikle IoT, büyük veri analitiği, yapay zekâ, blok zinciri ve robotik sistemler gibi dijital teknolojiler, lojistik süreçlerinde önemli iyileştirmelere yol açmaktadır. Bu çalışma, lojistik sektöründe dijitalleşmenin etkilerini, stratejik ve operasyonel dönüşümü nasıl şekillendirdiğini incelemektedir. Çalışma, dijitalleşme stratejilerinin başarıyla uygulandığı Türk lojistik firmaları ve küresel ölçekteki örnekler üzerinden dijitalleşmenin sektördeki geniş kapsamlı etkilerini göstermektedir. Ayrıca, gelecekteki

eğilimler ve fırsatlar üzerinde de durularak, Endüstri 5.0'ın yükselen önemi vurgulanmıştır.

Dijitalleşme, lojistik sektörünü daha verimli, esnek ve sürdürülebilir bir hale getirmektedir. Depolama, taşıma ve dağıtım gibi lojistik süreçlerde hız, doğruluk ve operasyonel verimlilik artışı sağlanırken, dijital araçlar aynı zamanda maliyetleri düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Ancak dijitalleşme sürecinin başarılı olabilmesi için stratejik planlama, kaynakların etkin yönetimi ve çalışanların dijital teknolojilere uyum sağlaması gereklidir. Dijital dönüşüm, yalnızca teknolojik yatırımlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda organizasyonel bir dönüşümü de gerektirmektedir. Teknolojilerin entegrasyonu, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini daha şeffaf, izlenebilir ve güvenli hale getirmektedir.

Lojistik firmalarının dijitalleşme sürecine başlamadan önce mevcut iş süreçlerini detaylı bir şekilde analiz etmeleri ve dijitalleşmeye uygun alanları belirlemeleri önemlidir. Bu analiz, dijitalleşme yol haritası oluşturulmasına olanak tanır ve firmanın kısa, orta ve uzun vadeli hedefleriyle uyumlu hale getirilmelidir. Ayrıca, dijital dönüşüm sürecinde teknolojik yatırımların etkin yönetimi kritik bir rol oynar. Çalışanların dijital teknolojilere uyum sağlamaları için sürekli eğitim programları düzenlenmeli ve kaynak yönetimi güçlü bir şekilde planlanmalıdır.

Veri analitiği ve yapay zekâ uygulamaları, lojistik süreçlerinin optimize edilmesinde önemli bir rol oynar. Bu teknolojiler, lojistik firmalarının operasyonel verimliliklerini artırarak rekabet avantajı sağlamalarına yardımcı olabilir. Aynı zamanda dijitalleşme, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlar. Lojistik firmalarının karbon ayak izini azaltmayı amaçlayan dijital araçları kullanarak sürdürülebilir çözümler geliştirmeleri teşvik edilmelidir.

Gelecekteki çalışmaların, lojistik sektöründeki dijitalleşmenin etkilerini daha derinlemesine incelemesi ve özellikle küçük ve orta ölçekli firmaların dijital dönüşüm süreçlerine odaklanması önerilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ ve veri analitiği gibi gelişen teknolojilerin lojistik operasyonlarına entegrasyonunun uzun vadeli etkileri araştırılmalıdır. Çevresel sürdürülebilirlik ve dijitalleşme arasındaki ilişkiyi daha fazla keşfederek, lojistik sektöründe daha verimli ve çevre dostu çözümler geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir. Son olarak, dijitalleşmenin iş gücü üzerindeki etkileri, yeni beceri gereksinimleri ve çalışan eğitimi üzerine araştırmalar derinleştirilmelidir.

## Kaynakça

- Adel, A. (2023). Unlocking the future: fostering human-machine collaboration and driving intelligent automation through industry 5.0 in smart cities. *Smart Cities*, 6(5), 2742-2782.
- Adesoga, T. O., Ajibaye, T. O., Nwafor, K. C., Imam-Lawal, U. T., Ikekwere, E. A., & Ikechukwu, D. (2024). The rise of the "smart" supply chain: How AI and automation are revolutionizing logistics. *International Journal of Science and Research Archive*, 12(2), 790-798.
- Akkad, M. Z., & Bányai, T. (2020). Applying sustainable logistics in industry 4.0 Era. In *Vehicle and Automotive Engineering* (pp. 222-234). Singapore: Springer Singapore.
- Akkaya, M., & Kaya, H. (2019, October). Innovative and smart technologies in logistics. In *17th International Logistics and supply chain congress* (pp. 97-105).
- Alexopoulos, K., Makris, S., Xanthakis, V., Sipsas, K., & Chryssolouris, G. (2016). A concept for context-aware computing in manufacturing: the white goods case. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(8), 839-849.
- Amazon, "Amazon has launched our most advanced delivery drone yet—here's everything you need to know", <https://www.aboutamazon.com/news/operations/mk30-drone-amazon-delivery-packages>, (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Amazon, <https://aws.amazon.com/tr/ai/>, 11.12.2024, "AWS'de bir sonraki yapay zeka inovasyonu dalgasını oluşturun ve ölçeklendirin", (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Baimukhanbetova, E., Tazhiyev, R., Sandykbayeva, U., & Jussibaliyeva, A. (2023). Digital Technologies in the Transport and Logistics Industry: Barriers and Implementation Problems. *Eurasian Journal of Economic and Business Studies*, 67(1), 82-96.
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. (2016). Lojistik koordinasyon yeteneği, lojistik inovasyon yeteneği ve müşteri ilişkileri (miy) yeteneği ile rekabet avantajı ve lojistik performans arasındaki ilişki: Bir alan araştırması. *Kabramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 39-68.
- Borusan Lojistik, "cTA: Yük Taşımanın ve Taşımanın Adı", <https://www.cta-simacilik.com/> (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Boute, R. N., & Udenio, M. (2022). AI in logistics and supply chain management. In *Global logistics and supply chain strategies for the 2020s: Vital skills for the next generation* (pp. 49-65). Cham: Springer International Publishing.



- Burinskienė, A., & Daškevič, D. (2024). Digitalization in Logistics for Competitive Excellence: Case Study of Estonia. *Tehnčki glasnik*, 18(3), 486-496.
- Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing industry 4.0 principles. *Computers & industrial engineering*, 158, 107379.
- Demir, S., Paksoy, T., & Kochan, C. G. (2020). A Conceptual Framework for Industry 4.0:(How is it Started, How is it Evolving Over Time?). In *Logistics 4.0* (pp. 1-14). CRC Press.
- Demiral, D. G. (2021). Endüstri 4.0'n lojistik boyutu: Lojistik 4.0. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (9), 231-251.
- DHL, "Accelerating the Pace of Digital Transformation", <https://www.dhl.com/tr-en/home/supply-chain/innovations/accelerated-digitization-for-supply-chains.html>, (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Doguchaeva, S., Zubkova, S., & Katrashova, Y. (2022). Blockchain in public supply chain management: advantages and risks. *Transportation Research Procedia*, 63, 2172-2178.
- Ekol Lojistik, "Depo Yönetimi Teknolojisi", <https://www.ekol.com/tr/lojistik/depo-yonetimi/teknoloji/> (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Glistau, E., & Coello Machado, N. I. (2018, May). Industry 4.0, logistics 4.0 and materials-chances and solutions. In *Materials Science Forum* (Vol. 919, pp. 307-314). Trans Tech Publications Ltd.
- Hackius, N., & Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, Vol. 23 (pp. 3-18). Berlin: epubli GmbH.
- Helmke, B. (2022). Digitalization in Logistics. In *Project Management in Logistics and Supply Chain Management: Practical Guide With Examples From Industry, Trade and Services* (pp. 179-201). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kayıkci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia manufacturing*, 21, 782-789.
- Kern, J. (2021). The digital transformation of logistics: A review about technologies and their implementation status. *The digital transformation of logistics: Demystifying impacts of the fourth industrial revolution*, 361-403.

- Korchagina, E., Kalinina, O., Burova, A., & Ostrovskaya, N. (2020). Main logistics digitalization features for business. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 164, p. 10023). EDP Sciences.
- Kuehne Nagel, <https://mykn.kuehne-nagel.com/ac/login>, (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Kückelhaus, M., & Chung, G. (2018). Logistics Trend Radar, DHL Customer Solutions & Innovation, Germany. *Available on the Internet: www.dhl.com (23/12/2018)*.
- Kwilinski, A., Lyulyov, O., & Pimonenko, T. (2023). Environmental sustainability within attaining sustainable development goals: The role of digitalization and the transport sector. *Sustainability*, 15(14), 11282.
- Ma, L., & Chang, R. (2024). How big data analytics and artificial intelligence facilitate digital supply chain transformation: the role of integration and agility. *Management Decision*.
- Maersk, "How blockchain technology is beefing up supply chain visibility" <https://www.maersk.com/news/articles/2021/07/27/how-blockchain-technology-is-beefing-up>, (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Maslarić, M., Nikolić, S., & Mirčetić, D. (2016). Logistics response to the industry 4.0: the physical internet. *Open engineering*, 6(1).
- Mladenović, T. (2018). Cloud Computing in logistics, Master Thesis, Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade.
- Netlog Lojistik, "Netlog Lojistik Dijital Dönüşüm Sektör Birincisi", <https://www.netloglogistics.com/>, (Erişim Tarihi: 23.01.2025).
- Nitsche, B., & Straube, F. (2023). Current State and Future of International Logistics Networks—The Role of Digitalization and Sustainability in a Globalized World. *Logistics*, 7(4), 83.
- Oleśków-Szłapka, J., & Stachowiak, A. (2019). The framework of logistics 4.0 maturity model. In *Intelligent systems in production engineering and maintenance* (pp. 771-781). Springer International Publishing.
- Oliveira, T., & Martins, M. F. (2011). Literature review of information technology adoption models at firm level. *Electronic journal of information systems evaluation*, 14(1), pp110-121.
- Owen, J. M. (2006). *The scientific article in the age of digitization* (Vol. 11). Springer Science & Business Media.
- Özdemir, A., & Özgüner, M. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne etkileri: Lojistik 4.0. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 6(4), 39-47.
- Parashar, B., Sharma, R., Rana, G., & Balaji, R. D. (2023). Foundation concepts for industry 4.0. In *New Horizons for Industry 4.0 in Modern Business* (pp. 51-68). Cham: Springer International Publishing.

- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International journal of information systems and project management*, 5(1), 63-77.
- Pizoń, J., & Gola, A. (2023). Human-machine relationship—perspective and future roadmap for industry 5.0 solutions. *Machines*, 11(2), 203.
- Radivojevic, G., Bjelic, N., & Popovic, D. (2019). Internet of things in logistics. In *3rd Logistics International Conference. Serbia, Belgrade* (Vol. 3, pp. 185-190).
- Radivojević, G., & Milosavljević, L. (2019, May). The concept of logistics 4.0. In *4th Logistics international conference* (pp. 23-25).
- Razumova, Y. V., & Levina, E. P. (2019). Digitalization of the transport and logistics market: integration of information systems. Russian experience in introducing digital technologies in the organization of logistics processes. *Amazonia Investiga*, 8(22), 269-279.
- Remondino, M., & Zanin, A. (2022). Logistics and agri-food: Digitization to increase competitive advantage and sustainability. Literature review and the case of Italy. *Sustainability*, 14(2), 787.
- 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(4), 79.
- Schrauf, S., & Bertram, P. (2016). Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. *Strategy and PWC*, 9(2016), 1-32.
- Sezer, İ. C. (2020). *The impact of industry 4.0 on logistics human resources: An insight from domestic logistics companies in Izmir* (Master's thesis, İzmir Ekonomi Üniversitesi).
- Szymańska, O., Adamczak, M., & Cyplik, P. (2017). Logistics 4.0-a new paradigm or set of known solutions?. *Research in Logistics & Production*, 7.
- Ustundag, A., Cevikcan, E., Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A conceptual framework for Industry 4.0. *Industry 4.0: managing the digital transformation*, 3-23.
- Verbivska, L., Zhygalkevych, Z., Fisun, Y., Chobitok, I., & Shvedkyi, V. (2023). Digital technologies as a tool of efficient logistics.
- 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.

