



# LOJİSTİĞİN GELECEĞİ - 4

Editörler

Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ  
Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT



# **LOJİSTİĞİN GELECEĞİ - 4**

**Editörler**

**Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ**

**Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT**



*Lojistiğin Geleceği - 4*

*Editörler: Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ, Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT*

**Genel Yayın Yönetmeni:** Berkan Balpetek

**Kapak ve Sayfa Tasarımı:** Duvar Design

**Baskı:** Kasım 2025

**Yayıncı Sertifika No:** 49837

**ISBN:** 978-625-8734-42-3

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

[www.duvar yayinlari.com](http://www.duvar yayinlari.com)

[duvarkitabevi@gmail.com](mailto:duvarkitabevi@gmail.com)

## ÖNSÖZ

Günümüzde, teknolojik dönüşümün hızlanması, değişen küresel ticaret dinamikleri, tüketici beklentilerinin çeşitlenmesi, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerini de yeniden şekillendirmektedir. Yeni nesil çözümler, mevcut operasyonel uygulamaların sınırlamalarını aşarak, daha hızlı, daha esnek ve daha sürdürülebilir tedarik zincirleri inşa edilmesine katkı sağlamaktadır. Bugün lojistik sektörü, değer yaratma ve müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarma noktasına evrilmiştir. Akıllı teknolojiler, otomasyon, yapay zeka, IoT (Nesnelerin İnterneti), blockchain, büyük veri gibi yenilikçi araçlar, tedarik zincirlerinin daha şeffaf, güvenilir ve verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik konuları da tedarik zinciri stratejilerinin, yenilikçi dönüşüm üzerine yoğunlaşmasını zorunlu kılmaktadır.

Lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde şekillenen bu yenilikçi dönüşümün keşfedilmesi amaçlanmaktadır. Böylece teknolojik yenilikler dışında, stratejik değişimlerin ve iş modellerinin dönüşümü üzerine bakış açısı sunulabilecektir. Yeni nesil tedarik zinciri yönetim sistemlerinin, şirketler için rekabet avantajı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda toplumsal ve çevresel sorumluluklarını yerine getirme noktasında nasıl bir fırsat sunduğuna dair örneklerle açıklamalar yapılmaktadır. Bu alandaki yenilikleri anlamak ve bu yeniliklere uyum sağlamak, sadece sektör profesyonelleri için değil, aynı zamanda yöneticiler ve karar vericiler için de kritik bir önem taşımaktadır.

Lojistiğin Geleceği-4, lojistik ve tedarik zinciri dünyasında devrim yaratan teknolojilerin ve iş yapış şekillerinin incelenmesini, okuyucuya sadece bugünün değil, yarının tedarik zinciri yönetim anlayışını da sunmak amacıyla hazırlanmış olup, serinin dördüncü kitabı olarak sekiz bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde, sektördeki dijital dönüşüm ve yenilikçi çözümler:

- **Lojistikte Otomasyon:** Lojistik süreçlerde otomasyon kullanım alanları ve faydaları,
- **Lojistikte Öğrenme Yönetim Sistemlerinin Dönüşümü:** ÖYS dönüşümünü hem kuramsal hem de uygulamalı bir çerçevede,
- **Lojistikte Alternatif Yakıtlar:** Lojistik süreçlerde alternatif enerji kullanımına ilişkin teknolojik dönüşümü,
- **Lojistik İşletmelerinin Lojistik 4.0 Teknolojilerine Adaptasyon Süreçlerinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma:** Lojistik 4.0'ın Türkiye'deki güncel uygulama düzeyine ışık tutarak sektöre yol gösterici bir bakış açısı sunması,
- **Sipariş Toplama Operasyonlarında İnsan Merkezli Simülasyon Modelleri: Eğilimler ve Gelecek Yönelimler:** Otomatik yönlendirmeli

araç destekli sipariş toplama operasyonlarında, insan–makine işbirliğine odaklanan simülasyon tabanlı yaklaşımları,

- **Akıllı Depolar:** Depoların gelişim sürecinin incelenmesi, depo yönetim anlayışının ve akıllı depoların önemi,
- **Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminde Makine Öğrenimi:** Lojistik ve TZY’de uygulayıcılar ve araştırmacılar açısından, makine öğrenimi uygulamalarını,
- **Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimini Şekillendiren Yenilikler: Büyük Veri:** Büyük veri kullanımının, lojistik ve tedarik zinciri hizmetlerinde sağlayacağı katkı,

derinlemesine incelenmektedir. Her bir bölüm, yalnızca teorik araştırma ile sınırlı kalmayıp, sektörel uygulamalara ait örnekler de paylaşılmıştır.

Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm yazarlara, kitap tasarımı ve basımı için “Duvar Yayınevi” ekibine teşekkür ederiz.

Bu eserin, lojistik sektöründe çalışan profesyonellere, akademisyenlere, öğrencilere ve sektöre ilgi duyan herkese ilham vermesine, yeni ufuklar açmasına, sektörün dönüşümüne değer katan yenilikçi çözümler geliştirilmesine katkı sağlaması dileğiyle...

Sizleri, bu yolculukta lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin geleceğine dair keyifli bir keşfe davet ediyoruz.

**Editörler**

**Prof. Dr. Fahriye MERDİVENÇİ**

**Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT**

# İÇİNDEKİLER

## 1.Bölüm .....1

Lojistikte Otomasyon

*Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ*

## 2.Bölüm ..... 18

Lojistikte Öğrenme Yönetim Sistemlerinin Dönüşümü:

Örgütsel Öğrenme ve Dinamik Yetenekler

*Arş. Gör. Dr. Artuğ Eren COŞKUN*

## 3. Bölüm .....40

Lojistikte Alternatif Yakıtlar:Teknoloji Odaklı Yaklaşım

*Öğr. Gör. Dr. Hayrullah ALTINOK*

## 4. Bölüm .....62

Lojistik İşletmelerinin Lojistik 4.0 Teknolojilerine

Adaptasyon Süreçlerinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma

*Öğr. Gör. Dr. İbrahim Ethem DAĞDEVİREN*

## 5. Bölüm ..... 79

Sipariş Toplama Operasyonlarında İnsan Merkezli Simülasyon Modelleri:

Eğilimler ve Gelecek Yönelimler

*Dr. Öğr. Üyesi Suzan OĞUZ*

**6. Bölüm .....100**

Akıllı Depolar

*Öğr. Gör. Sude DIŞKAYA*

**7. Bölüm .....126**

Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminde Makine Öğrenimi

*Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI*

**8. Bölüm .....152**

Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimini Şekillendiren Yenilikler:Büyük Veri

*Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT*

## **1. Bölüm**

# **Lojistikte Otomasyon**

**Prof. Dr. Fahriye MERDİVENÇİ<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü,  
fahriye@akdeniz.edu.tr. ORCID No: 0000-0001-8956-7051

## GİRİŞ

Otomasyon uygulamaları lojistik alanında, 1950'lerden günümüze taşıma, elleçleme, depolama ve paketleme gibi dâhili işlerde giderek daha çok hayata geçirilmiştir. Buna paralel olarak üretim süreçlerindeki otomasyon daha hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Özellikle otomotiv sektöründe endüstriyel robotlar çok çeşitli işler için kullanılmıştır. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte endüstriyel robotlar, lojistik ağ boyunca taşıma ve elleçleme fonksiyonlarının optimizasyonu için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Echelmeyer vd., 2008). Basit ve tekrarlayan faaliyetlerin manüel olarak gerçekleştirilmesinin şirketler için karlı olmadığı anlaşılmış bu nedenle robotların ve otomatik makinelerin çalışması el emeğinin yerini almaya başlamıştır. Ancak böylesine yoğun bir endüstriyel gelişme çağında bile robotlar insanların yerini tamamen alamıyor. Makinenin insanlarla entegrasyonu ve işbirliğini sağlayan yeni uygulamalar sistematik olarak ortaya çıkmaktadır (Brzezinski, 2022).

Otomasyonun kullanımı, insan gücü ve zamanı daha etkin kullanmak amacıyla son on yılda artmaya başlamıştır. Otomasyon, bilgisayar ve makinelerden oluşan bir sistem getirmiş ve insan ile makineyi birleştirerek oluşturulan sistemi değiştirmiştir. Yoğun ve tekrarlayan görevler verimli hale gelmiş ve çeşitli endüstrilerde otomasyonun kullanılmasıyla ürün kalitesi de artmıştır. Otomasyonun çeşitli türleri vardır, bunlardan bazıları şunlardır (Shekhar, 2019):

- Sayısal Kontrol: Matkaplar, 3D baskı, cam kesme vb. makinelerin tekrarlayan görevleri yerine getirmek üzere programlandığı bu kategoriye girer.
- Bilgisayar destekli üretim: Bu otomasyon örneği için bilgisayar yazılımları kullanılır; bunlara bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli tasarım ve çizim vb. örnek verilebilir.
- Esnek üretim sistemleri: Robotların ve diğer gelişmiş otomasyon araçlarının kullanıldığı, kullanıcılara esneklik ve özelleştirme sağlayan karmaşık bir otomasyon sistemidir.
- Endüstriyel robot: Robotlar, kaynak, montaj ve malzeme taşıma vb. işlemlerde kullanılır ve üç veya daha fazla eksenle programlanabilir ve kontrol edilebilir.

Robotlar, insanlarla işbirliği içinde otonom veya yarı otonom olarak çalışan sensorlar ve aktüatörler içeren sistemlere odaklanır. Robotik araştırmaları, yapılandırılmamış ortamlarla başa çıkmak için zeka ve uyarlanabilirliği vurgular. Otomasyon araştırmaları ise verimlilik, üretkenlik, kalite ve güvenilirlik üzerinde durmakta, genellikle uzun süreler boyunca yapılandırılmış ortamlarda otonom olarak çalışan sistemlere ve bu tür ortamların açık bir şekilde

yapılandırılmasına odaklanmaktadır. Bu ifade, Otomasyonun yapılandırılmış ortamlara karşı yapılandırılmamış ortamları, güvenilirliğe karşı uyarlanabilirliği ve verimliliğe karşı keşifsel işlemleri nasıl vurguladığını açıklamaktadır (Goldberg, 2012).

Otomasyon ve bilgisayar teknolojileri kendi başlarına, pazar eğilimleriyle tutarlı olmak ya da beklentileri karşılamak için uygulanmaz. Otomasyon üretkenliği artırmaya maliyetleri düşürmeye esneklik kazanmaya rutin işleri daha verimli hale getirmeye işyeri güvenliğini sağlamaya teslimat sürelerini ve pazara sunma süresini azaltmaya ve ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilir. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) bu gelişime ayak uydurması büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler genellikle fırsatlardan yararlanmak için gerekli kaynaklardan ve yetkinliklerden yoksun olabilir. Lojistik hem bir fırsat hem de bir risk olarak Endüstri 4.0 ile ilişkili yaklaşan teknolojilerden güçlü bir şekilde etkilenen alanlar arasındadır. Her şeyden önce, lojistik hala uygun maliyetlerle üstün bir hizmet seviyesi sağlamak için bir zorunluluktur (Zsifkovits vd., 2020).

## 1. OTOMASYON KAVRAMI

Üreticiler ilk olarak otomasyonu üretime dahil ettiklerinde, bu özellikle otomobillerin seri üretimi içindi. Ancak otomasyon giderek bir şirketin küresel ağını ve ilişkilerini kapsayacak şekilde gelişti. Otomasyon, işletmenin dört duvarı içinde yavaş gelişerek dış dünyayı da kapsar hale geldi ve bu da ilişkilerin otomasyonuna yönelmeye neden oldu (Viswanadham, 2002). Sonuç olarak, literatürde otomasyon tanımları ve anlayışları gelişmiştir. Tablo 1, literatürde yer alan anlayış ve tanımlara genel bir bakış sunmaktadır.

**Tablo 1. Otomasyon Tanımları**

| Yazar             | Tanım                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Evans, (1991)     | Otomasyon, temel olarak, herhangi bir insan müdahalesi olmadan otomatik olarak işleri yapabilen bir yazılım veya donanım üretmek anlamına gelir.                                                                                                                                           |
| Frohm vd., (2008) | Otomasyon genellikle insan ve teknoloji arasındaki ilişkiyi değil, teknoloji içindeki çevresel değişkenlerin algılanmasının mekanizasyonunu ve entegrasyonunu ifade eder.                                                                                                                  |
| Goldberg, (2012)  | Otomasyon araştırmaları verimlilik, üretkenlik, kalite ve güvenilirliği vurgular, genellikle uzun süreler boyunca yapılandırılmış ortamlarda otonom olarak çalışan sistemlere ve bu tür ortamların açık bir şekilde yapılandırılmasına odaklanır.                                          |
| Paško vd., (2022) | Otomasyon (Yunanca'da kendi kendine öğrenme anlamına gelir), robotizasyon veya endüstriyel otomasyon veya sayısal kontrol, endüstriyel makineleri ve süreç kontrollerini kontrol etmek için bilgisayarlar gibi kontrol sistemlerinin kullanılması ve insan operatörlerin yerini almasıdır. |

Bu tanımlar ve anlayışlar incelendiğinde, bir insan tarafından gerçekleştirilen bir görevin bir makine veya bilgisayarla değiştirilmesinin otomasyonun odak noktası olduğu açıkça görülmektedir. Üretimde otomasyonun ilk aşamalarında bu, esas olarak bir makinenin görevi daha verimli ve güvenli bir şekilde yerine getirmek için bir insanın yerini alması veya ona destek olması, aynı zamanda insanın üstesinden gelemeyeceği bir görevi (örneğin ağır bileşenleri kaldırmak) yerine getirmesi anlamına geliyordu. İlerleyen sanayileşme ve dijitalleşme nedeniyle, insanların tek başına çözemeyeceği görevleri destekleme yönü daha da önemli hale geldi. Modern tedarik zincirlerinde akıllı algoritmalar karar almayı desteklemekte ve insanların tek başına çözemeyeceği kadar karmaşık olan sorunları çözülebilir hale getirmektedir. Bu nedenle yöneylem araştırması, ileri analitik yoluyla çok karmaşık kararların desteklenmesini ele aldığı için lojistik ve tedarik zinciri otomasyonu alanındaki araştırmaların ayrılmaz bir parçasıdır (Nitsche vd., 2021).

İncelemenin odağını güçlendirmek ve uygun literatürün belirlenmesine yardımcı olmak için lojistik ve tedarik zinciri yönetimi özelliklerine uyarlanmış bir tanım gereklidir. Yazarların değindiği kadarıyla, daha önce yapılmış böyle bir tanım bulunmamaktadır. Genel otomasyon tanımlarına, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin özellikleri ile birlikte dikkate alan bir tanım önerilmiştir. Lojistik ve tedarik zinciri otomasyonu, insan tarafından gerçekleştirilen fiziksel ya da bilgisel bir sürecin bir makine tarafından kısmen ya da tamamen değiştirilmesi ya da desteklenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu, malların fiziksel akışının yanı sıra odak firma içinde ve tedarik zinciri ortaklarıyla ilgili bilgi ve finansal akışları planlama, kontrol etme veya yürütme görevlerini içerir (Nitsche vd., 2021).

Lojistik ve tedarik zinciri otomasyonunun önerilen tanımı otonom lojistiği içermekte ancak otomasyonu bununla sınırlanamamaktadır. Otonom lojistik sistemleri, insan olmayan aktörlerin (örneğin yazılım ajanları) insan müdahalesine ihtiyaç duymadan bağımsız olarak karar verdiği sistemler olarak anlaşılmaktadır. Birçok otomasyon uygulamasında karar desteği verilir ancak asıl kararın kontrolü insanlarda olur (Nyhuis ve Wiendahl, 2009).

Otomasyon, bir imalat dizisinin her noktasında insanın işe karışmasına gerek bırakmaksızın denetleyen, bir kontrol ünitesi veya mikroişlemci aracılığı ile yapacağı işler önceden kendisine öğretilen, sayısal sinyallerle aldığı talimatlar doğrultusunda kendisine öğretilen görevleri insan emeği ile kıyaslanmayacak derecede daha hızlı, hatasız ve daha ucuza yapılmasını sağlayan ve özgün olarak negatif bir geri besleme sistemi kullanan kontrol

sistemidir. Kısaca otomasyon, insan müdahalesi olmadan herhangi bir hareketin oluşması ve bu hareketin istenildiği gibi gerçekleşmesidir (Akkurt, 1996).

“Otomasyonun klasik amacı, insan eliyle kontrol, planlama ve problem çözmenin yerini otomatik cihazlar ve bilgisayarların almasıdır”. “Otomasyon, insanın gözlem, karar ve çaba organlarının yerini alan mekanik veya elektronik cihazlar tarafından bir aygıtın, bir sürecin veya bir sistemin otomatik olarak kontrol edilmesidir” (Nitsche vd., 2021).

## **2. LOJİSTİKTE ROBOTİK SÜREÇ OTOMASYONU**

Otomasyon lojistikte giderek daha fazla kullanılıyor. Son yıllarda, robotlara sahip olmanın toplam maliyetinin faydalara oranı radikal bir şekilde değişmiştir. Bu bağlamda, Robotik Süreç Otomasyonu (RSO) teknolojisi kuruluşlarda özel bir uygulama potansiyeline sahiptir. Tekrarlayan iş süreçlerinin bilgisayar programları (robotlar) kullanılarak otomasyonuna dayanmaktadır (Brzezinski, 2022).

Bir iş süreci, ölçülebilir, açık kurallara dayalı, belirli bir sırayı takip eden ve belirli bir sonuç elde etmek için tasarlanmış bir dizi faaliyettir. Öte yandan robot, belirli bir iş sürecinin uygulanması sırasında bir insan tarafından gerçekleştirilen belirli faaliyetleri otomatikleştiren (bunları kullanıcı ara yüzü düzeyinde veya arka planda aslına uygun olarak yeniden üreten) bir yazılımdır. Robot uygulamalarının etkinliği ve faydaları çeşitli açılardan ele alınabilir. Değerlendirme kriterleri her proje için ayrı ayrı geliştirilmelidir (Brzezinski, 2022).

Aynı zamanda, birçok şirkette RSO'nın iş süreçlerinin standardizasyonuna ve optimizasyonuna da katkıda bulunduğunu belirtmek gerekir. Robot uygulama süresi ortalama bir ay olduğu için bu çözüm hızlı bir şekilde kullanılabilir. RSO'yu seçerken, genellikle mevcut bilgisayar teknolojileri altyapısına önemli ölçüde müdahale etmeye gerek yoktur, bu da maliyetleri düşürür. Ancak her şeyden önce, kurumsal lojistik açısından RSO, rekabet avantajı yaratmanın, müşterilere katma değerli hizmetler sunmanın, yetkinlikler oluşturma ve işletmede bir otomasyon kültürü oluşturma önemli bir unsurdur (Brzezinski, 2022).

Robotlaştırmadan önce otomatikleştirilmiş süreçler genellikle önemli insan kaynakları ve çok fazla zaman gerektirir. Robotlaştırma sayesinde insan potansiyeli daha yaratıcı görevler gerçekleştirmek üzere serbest bırakılabilir, rutin faaliyetlerin gerçekleştirilme süresi kısalmış ve insan hatalarının ortadan kaldırılması sayesinde veri kalitesi ve dolayısıyla bunlara dayalı olarak alınan kararların kalitesi artar. Üretim şirketleri şu anda lojistik

süreç yönetiminin artan karmaşıklığı koşullarında faaliyet göstermektedir. Lojistiği destekleyen bilgi akışı giderek daha hassas olmalı ve gerçek zamanlı olarak gerçekleşmelidir. Robot yazılımı ile birlikte otomasyon, işlem süresini kısaltarak, insan hatalarını azaltarak, işletme maliyetlerini düşürerek, verilerin karşılıklı uyumluluğunu ve doğruluğunu artırarak şirketin çalışmaları üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Brzezinski, 2022).

Groover'a (2008) göre, otomatikleştirilmiş süreçlerinin uygulanmasının nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Artan işgücü verimliliği
- Daha düşük işgücü maliyetleri
- İşgücü eksikliğinin etkilerinin azaltılması
- Rutin manüel ve büro işlerinin azaltılması ve/veya ortadan kaldırılması
- Geliştirilmiş işyeri güvenliği
- Geliştirilmiş ürün kalitesi
- Azaltılmış teslim süresi
- Manüel olarak yapılamayan süreçlerin gerçekleştirilmesi ve
- Manüel süreçlere kıyasla yüksek maliyetlerden kaçınılması.

Bu nedenle lojistik sistemlerinde malzeme akış süreçlerinin otomasyonu bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegrasyonuna donanım ve yazılımın uyumluluğuna standartlaştırılmış ara yüzlere modüler tasarımlı sistemlere tutarlı bilgi depolamaya ve birlikte çalışabilir donanım ve yazılıma bağlıdır (Krämer, 2002).

Ekonomik gelişme ve artan rekabet gücü, işletmelerin sürekli olarak üretkenliği artıracak ve üretilen ürünlerin kalitesini iyileştirecek çözümler aramasına katkıda bulunmaktadır. Bu koşulların her ikisini de karşılamak robotik süreç otomasyonu için mümkündür (Brzezinski, 2022).

Lojistik süreçlerde otomasyon bir takım faydalar sağlamaktadır (Brzezinski, 2022):

- Verimlilik: zaman ve/veya para tasarrufu, işletme maliyetlerinin düşürülmesi, istihdamın azaltılması.
- Kalite: uygulanan süreçlerin kalitesinin iyileştirilmesi, veri doğruluğu kontrolü, hataların ortadan kaldırılması.
- İş organizasyonu: bu çözümler (kuruluşun hedeflerine ulaşma yeteneği), işin standartlaştırılması ve sistematik hale getirilmesi, süreçlerin kısaltılması ve kolaylaştırılması ve bunların seyrinin daha iyi kontrol edilmesi, yüksek hacimde riskin azaltılması, şirket gelişimi.

- Rekabet gücü: rekabetin eylemlerine hızlı tepki, teklif ve ürünlerin daha cazip hale getirilmesi; potansiyel olarak artan rekabet gücü, daha iyi müşteri hizmeti.
- Çalışanlar: ekip için bir taş yükü azaltma, otomasyona hizmet eden çalışanların daha az mevcut bilgisini gerektirir, diğer yandan uzmanların daha iyi bilgisi ve daha iyi yetenek yönetimi olasılığı, kariyerlerini geliştirmek için otomasyonu kullanma yeteneği (iyileştirmelere aktif katılım yoluyla).

Ayrıca robotik süreç otomasyon teknolojisi, robotlaştırmaya uygun yeni süreçleri belirlemek ve hatalardan öğrenerek performansı artırmak için sürekli iyileştirme tekniklerine dayanır. Bu sayede kuruluşun lojistiğinde kullanımını artırmak sistematik olarak mümkündür.

Sonuç olarak, lojistikte otomasyon önemli bir potansiyel ve performans artırıcı teşvikler için büyük fırsatlar barındırmaktadır.

Bu bağlamda, Granlund (2014) sistematik bir literatür taramasına dayanarak, en yaygın olarak görülen lojistik süreç uygulamaları ve mekanize otomasyon türlerini aşağıdaki gibi kümelemiş ve özetlemiştir:

- Otomatik yükleme ve boşaltma sistemleri
- Otomatik güdümlü araçlar
- Otomatik depolama ve geri alma sistemleri
- Mekanize elleçleme için otomatik forkliftler
- Çeşitli tiplerde karuseller, konveyör bantlar ve konveyör tabanlı ayıklama sistemleri
- Endüstriyel robotlar/robotlar
- Ürün toplama cihazları
- Asansör ve döner tablalar/yardımcılar
- Doğrusal aktüatörler
- Mekanize paletleme
- Hareketli güverteler ve eleme ve/veya ayırma sistemleri.

Bu bölümde, lojistik süreç uygulamalarında yer alan otomasyon türlerinden birkaçı kullanım alanlarına göre incelenmiştir.

### **3. OTOMATİK YÜKLEME VE BOŞALTMA SİSTEMLERİ**

Yükleme ve boşaltma süreçlerinde çok sayıda iş gücünün kullanılması, elleçleme verimliliği, iş yoğunluğu, personel ve kargo güvenliği ve saha yönetimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Yükleme ve boşaltma süreçlerinin otomasyonunu kısıtlayan ana neden, çok çeşitli malzeme bulunması ve genel yükleme ve boşaltma ekipmanlarının birden fazla

malzeme ile uyumlu olamamasıdır. Günümüzde forkliftler, hidrolik arabalar, bantlı konveyörler vb. gibi yükleme ve boşaltma araçları kullanılmaktadır (Zhu vd., 2021). Paletli mallar ve paletsiz mallar gibi, yüklenmesi ve boşaltılması gereken birçok mal spesifikasyonu bulunmaktadır. Her mal türünün ambalaj spesifikasyonları da farklıdır. Mevcut yükleme ve boşaltma araçları, aynı anda birden fazla malın küçük birim yükleme ve boşaltma işlemleriyle uyumlu olamaz. Bu nedenle, birden fazla malzemeye uyumlu otomatik yükleme ve boşaltma taşıma ekipmanını incelemek büyük bir değer ve pratik öneme sahiptir (Hongxun, 2021).

Lojistik bilgi tanımlama açısından, tam otomatik uyumlu yükleme ve boşaltma sistemi palet bağlantı çalışma modeline dayanmaktadır. Radyo frekansı tanımlama teknolojisi kullanılarak, tepsilerin, ürün paketlerinin ve büyük kutuların altına elektronik etiketler yerleştirilir ve giriş, çıkış ve otomatik yükleme ve boşaltma geçitlerine radyo frekansı ile tanımlama okuyucuları yerleştirilir. Yükleme sırasında, mallar otomatik olarak radyo frekansı ile tanımlama okuyucudan geçirilir ve radyo frekansı ile tanımlama bilgileri ile araç bilgileri üst depo yönetim sistemine iletilir, böylece mal bilgileri ile araç bilgilerinin bağlanması gerçekleştirilir ve aynı anda hesaplaşma tamamlanır. Boşaltma sırasında, mallar otomatik olarak radyo frekansı ile tanımlama okuyucudan geçirilir ve radyo frekansı ile tanımlama bilgileri, üst seviyeden iletilen mal ve araç bilgileriyle karşılaştırılır ve doğrulanır. Bilgiler anormal ise, nakliye sırasında malların güvenliğini sağlamak için alarm gönderilir. Sistem, tam otomatik uyumlu yükleme ve boşaltma sistemi ile depodaki sistem arasında bilgi etkileşimi ve kargo izlemeyi gerçekleştirir, çünkü depo yönetimi ve lojistik otomasyonunun seviyesini iyileştirmek için radyo frekansı ile tanımlama aracılığıyla, yüksek hızlı etkili ve iyi bilgi girişi ve doğrulama kanalları oluşturulur (Xu vd., 2021).

#### **4. OTOMATİK GÜDÜMLÜ ARAÇLAR**

Otomatik güdümlü araçlar; üretim tesisleri, depolar, dağıtım merkezleri ve aktarma terminalleri gibi tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Le-Anh ve De Koster, 2006).

Otomatik güdümlü araçların ana uygulama alanları, intralojistik, kontrol, iç ürün ve malzeme akışlarının yürütülmesi ve optimizasyonu ile endüstri, ticaret ve kamu kurumlarında lojistik, bilgi kanalları ve ürün transferidir (Ulrich, 2015).

Otomatik güdümlü araçlar, endüstride ürünleri A noktasından B noktasına taşımak için yaygın olarak kullanılan mobil robotlardır.

Günümüzde, Otomatik güdümlü araçların pazarı hızla büyüyen dinamik bir yapıya sahiptir. Grand View Research (2017) tarafından yayınlanan ve 2018 ile 2025 arasındaki dönemi öngören bir pazar raporu, otomatik güdümlü araçların potansiyel büyüme fırsatlarına odaklanarak, bu sistemlerin gelecekteki büyümesinin (i) esnek üretim sistemlerinin ortaya çıkması, (ii) özelleştirilmiş otomatik güdümlü araçlara olan talebin artması ve (iii) KOBİ'lerin endüstriyel otomasyonu benimsemesi nedeniyle gerçekleştiğini belirtmektedir. Mevcut otomatik güdümlü araç sistemleri iyi bilinmekte ve imalat, tıp ve lojistik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulrich, 2015).

Otomatik güdümlü araçlar sistemi, karmaşık ortamlarda çalışabilmek için birden fazla temel görevden oluşur. E-ticaret deposu bir örnek olarak alınırsa, bu temel görevler kolayca ayırt edilebilir. Böyle bir e-ticaret durumunda, lojistik depo sistemine sürekli olarak siparişler gelir. Bir sipariş, deponun herhangi bir yerinde bulunan ve siparişin müşteriye gönderilebileceği toplama istasyonuna getirilmesi gereken bir nesne olarak görülebilir. Otomatik güdümlü araçlar sistemi Şekil 1'de görüldüğü üzere beş temel göreve ayrılmaktadır (Ryck vd., 2020).



**Şekil 1.** Otomatik Güdümlü Araçların Görevleri

**Kaynak:** Ryck vd., 2020.

Otomatik güdümlü araçların ilk temel görevi Görev Dağıtımıdır. Otomatik güdümlü araçlar filosuna dağıtılması gereken bir dizi görev (sipariş), en uygun şekilde tahsis edilmelidir. Bunu çözmenin en kolay yolu, görevi sipariş edilen nesnenin konumuna en yakın otomatik güdümlü araçlara tahsis etmektir. Görev tahsis edildikten sonra, bir sonraki temel görevi, hedefe giden en kısa yolu bulmaktır. Bu görev, Yol Planlama olarak adlandırılır. Hedefe mümkün olan en hızlı şekilde ulaşmak için bir dizi segment aramak üzere ortamın bir temsilini kullanır. Yol Planlama için, Otomatik güdümlü araçların ortamında doğru bir şekilde navigasyon yapabilmesi önemlidir. Bu nedenle, Yerleştirme de önemli bir temel görevidir. Bir Yol Planlama algoritması bir otomatik güdümlü araç için en kısa yolu hesaplasa da bu otomatik güdümlü aracın bu yolu sorunsuz bir

şekilde takip edebileceği anlamına gelmez. Öngörülemeyen bir nesne veya kişi yolu engelleyebilir veya diğer otomatik güdümlü araçlar yolun bazı bölümlerini aynı anda kullanmak isteyebilir. Çarpışmaları veya birden fazla aracın çıkmaz durumuna girmesini önlemek için, Hareket Planlama adlı başka bir temel görev devreye girer. Bu planlayıcı, diğer statik veya dinamik nesnelerle çarpışmaları önlemeye çalışır. Çıkmaz durumları önlemeye çalışır ve belirli bir alandaki araç sayısını sınırlamaya çalışır. Bir alandaki araç sayısını sınırlamak, bölge kontrolü olarak adlandırılır. Çarpışmasız yol gerçekleştirildikten ve araçlar hedefine ulaştıktan sonra, nesne araca yüklenebilir (Ryck vd., 2020).

## **5. OTOMATİK DEPOLAMA VE GERİ ALMA SİSTEMLERİ**

Otomatik Depolama ve Geri Alma Sistemleri, malzemelerin 24 saat boyunca hızlı, doğru ve verimli bir şekilde taşınmasını sağladıkları için günümüzde modern dağıtım merkezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. En temel haliyle, bu sistemler, ürünlerin otomatik olarak depolandığı ve geri alındığı depolama raflarından oluşur. Bu geniş tanım, karusellerden deniz konteynerlerinin depolanması ve geri alınması için tasarlanmış sistemlere kadar çok çeşitli sistem uygulamalarını tanımlamaktadır. Birim yük olarak, depolama ve geri alma işlemlerinin tek bir birim yükü içeren tam otomatik sistemlerdir. Bu sistemler çoğunlukla birim yüklerin bitmiş ürün paletleri olduğu yüksek hacimli dağıtım merkezlerinde görülse de üretim ortamlarında da devam eden işlerin depolanması için kullanılabilirler (Gagliardi vd. 2012).

Günümüzde, endüstriyel şirketler tarafından depolama ve geri alma sistemi otomasyonuna oldukça büyük ilgi gösterilmektedir. Bu sistem, depo kontrolü ve yönetimine yönelik yenilikçi bir alternatiftir. Ayrıca İşçilik maliyetleri ve yer tasarrufu, ürünlerin taşınmasının kolaylığı ve hızı ve verimlilik seviyesinin artması gibi birçok fayda elde edilebilir. Genel depolama ve geri alma sisteminin temel unsurları, bir veya daha fazla depolama koridorundan oluşur. Depolanan malzemeler, depolama rafları ve koridorlardan oluşan bir sistemle tutulur. Kullanılan makineler, malzemeleri envantere teslim etmek ve envanterden almak için kullanılır. Malzemeyi depolama sistemine teslim etmek veya sistemden çıkarmak için her koridorda bir veya daha fazla giriş/çıkış istasyonu bulunur. Depolama ve geri alma terminolojisinde, giriş/çıkış istasyonları toplama ve depolama istasyonu olarak adlandırılır (Hameed vd., 2019).

Depolama ve geri alma sistemi, sabit depolama rafları dizileri arasında bir veya daha fazla ray üzerinde çalışan sabit yol depolama ve geri alma

makineleri kullanan bir depolama sistemi olarak tanımlanır. Bu sistemler, çeşitli ortamlarda yükleri depolamak ve almak için kullanılır. Bu sistemin ana bileşenleri raflar, vinçler, koridorlar, I/O noktaları ve toplama konumlarıdır. Raflar, genellikle depolanması gereken yükleri (örneğin paletler) barındırabilen konumlara sahip metal yapılardır. Vinçler, yükleri otonom olarak taşıyabilen, alabilen ve bırakabilen tam otomatik depolama ve geri alma makineleridir. Koridorlar, vinçlerin hareket edebileceği raflar arasındaki boş alanlardan oluşur. Giriş/çıkış noktası (I/O noktası), alınan yüklerin bırakıldığı ve gelen yüklerin depolama için alındığı yerdir. Toplama pozisyonları (varsa), yük sisteme geri gönderilmeden önce, çalışanların alınan yükten tek tek öğeleri çıkarmak için çalıştıkları yerlerdir. Bu sistem, yatay ve dikey hareketleri birbirinden ayırır. Araçlar, koridorlar boyunca raylar üzerinde yatay olarak hareket ederken, yüklerin dikey olarak taşınması için asansörler kullanılır (Roodbergen ve Vis, 2009).

## **6. MEKANİZE ELLEÇLEME İÇİN OTOMATİK FORKLİFTLER**

Modern lojistik sisteminin önemli ekipmanlarından biri olan forklift, mekanize yükleme ve boşaltma, istifleme ve kısa mesafeli taşıma için yüksek verimli bir ekipman haline gelmiştir. İstasyonlarda, limanlarda, havaalanlarında, depolarda ve ulusal ekonominin diğer çeşitli bölümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yang vd., 2014).

## **7. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR**

Endüstriyel robotlar, dijitalleşme ve akıllı devrimin temel teknolojisidir (Lee vd., 2022). Endüstriyel robotların kullanımı, imalat sektörünün akıllı dönüşümünün önemli bir somut örneğidir ve imalat sektörünün akıllı dönüşümünü teşvik etmek, düşük karbonlu inovasyonu hızlandırmanın temel araçlarından biridir (Yang vd., 2022). Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO, 2021) robotu "hareket, manipülasyon veya konumlandırma gerçekleştirmek için bir dereceye kadar özerkliğe sahip, programlanmış bir mekanizma" olarak tanımlamaktadır.

Son yıllarda, endüstriyel robotik teknolojisi birkaç önemli eğilim sergilemiştir. İlk olarak, modern endüstriyel robotların, görsel sistemler aracılığıyla hassas nesne tanıma ve işleme gibi daha karmaşık görevleri gerçekleştirmek için gelişmiş sensörler ve yapay zeka algoritmaları entegre ettiği zeka yönündeki bir eğilim vardır. İkincisi, insanlarla çalışma alanlarını güvenli bir şekilde paylaşmak üzere tasarlanmış ve insan-robot işbirliğinin yeni bir modelini mümkün kılan işbirlikçi robotların (Cobotlar) ortaya çıkmasıdır. Diğer bir eğilim ise robot teknolojisinin modülerleştirilmesi ve

standartlaştırılmasıdır. Bu sayede robot sistemleri, belirli üretim ihtiyaçlarını karşılamak için daha kolay özelleştirilebilir ve genişletilebilir hale gelmektedir. Örneğin Şekil 2. Paket Robotu; şasi, teleskopik konveyör bant, 3 boyutlu lazer tarayıcı ve değiştirilebilir kavrama sistemi - eklemli kol ve tutucudan oluşmaktadır.

Ayrıca, bulut bilişim ve IoT teknolojisinin gelişmesiyle birlikte endüstriyel robot sistemleri daha bağlantılı ve akıllı hale gelmekte, uzaktan izleme, teşhis ve bakım yapabilmekte, üretim verimliliğini daha da artırmakta ve işletme maliyetlerini düşürmektedir (Zhang, 2024).



**Şekil 2. Paket Robotu**

**Kaynak:** Echelmeyer vd., 2008.

Son yıllarda, robot teknolojisi lojistik ve depo yönetimi alanlarında giderek daha fazla uygulanmakta ve bu alanda otomasyon dönüşümü ve verimlilik artışı sağlanmaktadır. Lojistik ve depo yönetimini otomatikleştirmek, operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda güvenliği ve güvenilirliği de artırır. Manuel işlemleri azaltarak, operasyonlar sırasında güvenlik kazaları riski azalır. Ayrıca, robotların kullanımı depo ve lojistik operasyonlarını daha esnek ve uyarlanabilir hale getirerek, pazar talebindeki değişikliklere hızlı yanıt verilmesini sağlar (Zhang, 2024).

## **8. OTONOM MOBİL ROBOTLAR**

Otonom mobil robotlar, belirli görevleri yerine getirmek için bir konumdan diğerine otonom olarak hareket edebilen malzeme taşıma araçlarını ifade eder. Genellikle mobil platformlara monte edilmiş robotik kollar ve aktüatörlerle donatılmıştır (Shneier ve Bostelman, 2015). Bu robotlar; üretim, depolama, çapraz yükleme, terminaller ve hastaneler dahil olmak üzere çeşitli intralojistik alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.'te Otonom Kodiak traktör ünitesi görülmektedir. Gelişmiş donanım ve kontrol

yazılımları sayesinde bu robotlar dinamik ortamlarda görevleri bağımsız olarak yerine getirebilmektedir. Tüm otomatik güdümlü araçların zamanlamasını, rotasını ve sevkiyatını merkezi bir ünite tarafından yönetilen sistemlerin aksine, otonom mobil robotlar, makineler ve sistemler gibi diğer kaynaklarla özerk bir şekilde iletişim kurabilir ve müzakere edebilir, böylece karar verme sürecini sistem genelinde dağıtabilir. Bu merkezi olmayan yaklaşım hem sistemin durumundaki hem de ortamdaki değişikliklere dinamik olarak uyum sağlamasına olanak tanır. Bu gelişmeler, planlama ve kontrol için geleneksel yöntemleri ve karar verme süreçlerini yeniden şekillendirmektedir (Bogue, 2024).



**Şekil 3.** Otonom Kodiak Traktör Ünitesi

**Kaynak:** Bogue, 2024.

Otonom mobil robotlar, sadece nakliye ve malzeme taşıma işlemlerinin ötesinde geniş bir hizmet yelpazesi sunar. Devriye gezme ve insan operatörlerle işbirliği faaliyetleri gibi görevleri yerine getirebilirler. Otonom karar verme yetenekleriyle birleştiğinde, bu mobil platformlar son derece uyarlanabilir çözümler sunar. Otonom mobil araçların donanımı ve kontrol yazılımı, yalnızca gelişmiş navigasyon ve nesne tanıma değil, aynı zamanda yapılandırılmamış ve dinamik ortamlarda nesne manipülasyonunu da mümkün kılar (Hernández vd., 2018). Bu gelişmeler, merkezi olmayan karar alma süreçlerine doğru bir geçişi beraberinde getirmiştir. Tüm otomatik güdümlü araçların rotalama ve sevkiyat gibi önemli kararlarını merkezi bir birim yöneten sistemlerin aksine, otonom mobil robotlar, makineler ve kurumsal kaynak planlama veya malzeme taşıma değerlendirme ve kontrol yazılımı gibi sistemler dahil olmak üzere diğer kaynaklarla bağımsız olarak iletişim kurabilir ve müzakere edebilir, böylece kararları özerk bir şekilde alabilir. Otonom mobil robotları diğerlerinden ayıran özellik, yolundaki engelleri tespit edip varış noktasına ulaşmak için rotasını otomatik olarak yeniden ayarlayabilmesini sağlayan yüksek düzeyde yerleşik zekâsıdır.

(Loganathan ve Ahmad, 2023). Otonom mobil robotlarda merkezi olmayan karar vermenin genel amacı, talep ve çevre koşullarındaki değişikliklere dinamik bir şekilde yanıt verebilmeyi sağlarken, her aracın operasyonlarını sürekli olarak optimize etmesine olanak tanımaktır. Etkileyici verimlilikleri ve maliyet etkinliği nedeniyle, çeşitli endüstrilerde uygulama alanı bulmuştur. Artık ‘Endüstri 4.0’ konseptinin önemli bir bileşeni olarak kabul edilen Otonom mobil robotlar, akıllı fabrikaların ve kendi kendini organize eden sistemlerin hayata geçirilmesine katkıda bulunmaktadır (Kmiciek ve Horzela-Mis, 2022).

## SONUÇ

Ekonomik ve teknolojik gelişmeler ve artan rekabet gücü, işletmelerin üretkenliği artıracak ve üretilen ürünlerin kalitesini iyileştirecek çözümler arayışında olmalarına katkıda bulunmaktadır. Robotik süreç otomasyonu, bu iki koşulu da karşılamaktadır.

Robotikleşme öncesinde otomatikleşen süreçler, önemli miktarda insan kaynağı ve çok fazla zaman gerektirmekteydi. Robotikleşme sayesinde, insan potansiyeli daha yaratıcı görevleri yerine getirmek üzere serbest kalarak rutin faaliyetlerin gerçekleştirilme süresi kısaldı ve insan hatalarının ortadan kaldırılması sayesinde verilerin kalitesi ve dolayısıyla bu verilere dayalı olarak alınan kararların kalitesinde iyileşme sağlandı.

Lojistik süreç otomasyonunun sektör uygulamalarında; otomatik yükleme boşaltma sistemleri, otomatik güdümlü araçlar, otomatik depolama ve geri alma sistemleri, mekanize elleçleme için otomatik forkliftler, endüstriyel robotlar, otonom mobil robotlar yer almaktadır.

Otomasyon, üretkenliği artırmaya, maliyetleri düşürmeye, esneklik kazanmaya, rutin görevleri daha verimli hale getirmeye, işyeri güvenliğini sağlamaya, teslimat sürelerini ve pazara sunma süresini kısaltmaya ve ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmaktadır.

Günümüzde üretim firmaları lojistik süreç yönetiminin karmaşıklığının arttığı koşullarda faaliyet göstermektedir. Lojistiği destekleyen bilgi akışı giderek daha kesin ve gerçek zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Robot yazılımı ile birlikte otomasyon, işlem süresini kısaltarak, insan hatalarını azaltarak, işletme maliyetlerini düşürerek, verilerin karşılıklı uyumluluğunu ve doğruluğunu artırarak şirketlerin çalışmalarına olumlu katkı sağlamaktadır.

Gelecekte katma değeri olmayan süreçlerin otomasyonu, hem operasyonel verimlilik hem de maliyet tasarrufu sağlayarak lojistik sektörü için umut verici olabilir. Teknolojinin ilerlemesi ile daha hızlı ve daha verimli teslimatlar için, otomasyonun istisna olmaktan çıkıp norm haline gelmesi beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, M. (1996). Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve imalat (CAD-CAM) Sistemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bogue, R. (2024) The role of robots in logistics, *Industrial Robot*, 51(3), 381-386.
- Brzezinski, L. (2022). Robotic Process Automation in Logistics – A Case Study of a Production Company. *European Research Studies Journal*, 25(2), 307-315.
- Echelmeyer, W., Kirchheim, A., Wellbrock, E. (2008). Robotics-Logistics: Challenges for Automation of Logistic Processes. *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China*.
- Evans, G. (1991). Solving home automation problems using artificial intelligence techniques. *IEEE transactions on consumer electronics*, 37(3), 395-400.
- Frohm, J., Lindström, V., Stahre, J., Winroth, M. (2008). Levels of automation in manufacturing. *Ergonomia - an International journal of ergonomics and human factors*, 30(3).
- Gagliardi, J-P., Renaud, J., Ruiz, A. (2012) Models for automated storage and retrieval systems: a literature review *International Journal of Production Research*, 50(24), 15 December, 7110–7125.
- Goldberg, K. (2012). What is Automation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 9(1).
- Granlund, A. (2014). Facilitating Automation Development in Internal Logistics Systems. Vasteras: School of Innovation, Design and Engineering, Malardalen University.
- Groover, M.P. (2008). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.
- Hameed, H.M., Al Amry, K. A., Rashid, A. T. (2019). The Automatic Storage and Retrieval System: An Overview *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), 177(16), 36-43.
- Hernández, C., Bermejo-Alonso, J., Sanz, R. (2018). A self-adaptation framework based on functional knowledge for augmented autonomy in robots. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 25(2), 157-172.
- Hongxun L. (2021). Research on Development of Pallet ized load system at home and Abroad. *Technic Forum. China*, 6, 78-82.

- International Standards Organization (ISO). ISO 8373:2021. Robotics - Vocabulary. International Standards Organization, 2021, <https://www.iso.org/standard/75539.html>.
- Lee, C-C., Qin, S., Li, Y. (2022). Does industrial robot application promote green technology innovation in the manufacturing industry? *Technological Forecasting & Social Change* 183.
- Kmiecik, M., Horzela-Mis, A. (2022). Autonomization of non-added value process in logistics – case study, *Organization Management Scientific Quarterly*, No. 4(60).
- Krämer, K. (2002). *Automatisierung in Materialfluss und Logistik: Ebenen, Informationslogistik, Identifikationssysteme, intelligente Geräte*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Le-Anh, T. ve De Koster, M. (2006). A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 1–23.
- Loganathan, A., Ahmad, S. (2023). A systematic review on recent advances in autonomous mobile robot navigation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 40, 101343.
- Nitsche, B., Straube, F., Wirth, M. (2021). Application areas and antecedents of automation in logistics and supply chain management: a conceptual framework. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 2(3), 223-239.
- Nyhuis, P., ve H.-P. Wiendahl. (2009). *Fundamentals of Production Logistics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin.
- Paśko, Ł., Mądził, M., Stadnicka, D., Dec, G., Carreras-Coch, A., Solé-Beteta, X., & Atzeni, D. (2022). Plan and Develop Advanced Knowledge and Skills for Future Industrial Employees in the Field of Artificial Intelligence, Internet of Things and Edge Computing. *Sustainability*, 14(6), 3312.
- Roodbergen, Ĩ. K. J. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems *European Journal of Operational Research* 194 343–362, F.A.
- Ryck, M. De., Versteyhe, M., Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques” *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 152–173.
- Shekhar, S. S. (2019). Artificial Intelligence in Automation. *International Journal of Multidisciplinary*, 4(6), 14-17.

- Shneier, M., Bostelman, R. (2015). Literature review of mobile robots for manufacturing. *Nat. Inst. Standards Technol.*, Gaithersburg, MD, USA, Tech. Rep. NISTIR8022, May 2015.
- Ullrich, G., (2015). *Automated Guided Vehicle Systems A Primer with Practical Applications*, Springer Heidelberg New York Dordrecht London S:10.
- Viswanadham, N. (2002). The Past, Present, and Future of Supply-Chain Automation. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 9(2), 48–56.
- Xu, Y., Wang, L., Ouyang, S., Han, S., Zhang, J., Luo, S., Zhou, J. and Liang, G. (2021). Research on automatic loading and unloading system compatible with multiple materials. 9th International Conference on Traffic and Logistic Engineering (ICTLE), 27-30.
- Yang M. V., G. Xu, Dong, Q., Han, X. (2014). Vibration Study of Fork-lift Truck Based on the Virtual Prototype Technology, *Xiaojun Sensors & Transducers*, 170(5), 177-183.
- Yang, H., Li, L., Liu, Y. (2022). The effect of manufacturing intelligence on green innovation performance in China. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 178.
- Zhang, H. (2024). Optimization and Efficiency Improvement of Robot-based Industrial Production Process, *International Journal of New Developments in Engineering and Society*, 8(2), 92-97.
- Zhu H., Lu B. G., Tang G. R. (2021). Research on the automated loading mode of cigarette Packs. *Logistics & Material Handling, China*, 148-150.
- Zsifkovits, H., Woschank, M., Ramingwong, S., ve Wisittipanich, W. (2020). State-of-the-Art Analysis of the Usage and Potential of Automation in Logistics, *Industry 4.0 for SMEs Challenges, Opportunities and Requirements*, Editors: Matt, D., T., ·Modrák, W., Zsifkovits, H., Palgrave Macmillan, 193.

## **2. Bölüm**

# **Lojistikte Öğrenme Yönetim Sistemlerinin Dönüşümü: Örgütsel Öğrenme ve Dinamik Yetenekler**

**Arş. Gör. Dr. Artuğ Eren COŞKUN<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik ABD, erencoskun@akdeniz.edu.tr

## Özet

Dijitalleşmenin hızla arttığı günümüzde Öğrenme Yönetim Sistemleri (ÖYS), lojistik sektöründe bilgi yönetimi, yetkinlik geliştirme ve operasyonel verimlilik açısından stratejik bir dönüştürücü unsur haline gelmiştir. Lojistik işletmelerin karmaşık, dinamik ve teknolojiye bağımlı yapısı, geleneksel eğitim yaklaşımlarının yetersiz kalmasına yol açmakta; bu durum, örgütsel öğrenmeyi kurumsal düzeyde destekleyen dijital altyapılara duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Ancak mevcut literatürde, ÖYS'nin lojistik organizasyonlarındaki öğrenme süreçlerine nasıl entegre edildiği, bu entegrasyonun örgütsel performansa etkileri ve dinamik yeteneklerin gelişimindeki rolü sınırlı biçimde incelenmiştir. Uygulamada ise birçok lojistik işletmesi, dijital öğrenme araçlarını stratejik bilgi yönetimiyle bütünleştirmeden kullanmakta; bu da sistemlerin beklenen etkiyi yaratmasını engellemektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluklardan hareketle, lojistikte ÖYS'nin dönüşen rolünü teorik bir çerçeve içinde açıklamayı ve bu sistemlerin örgütsel öğrenme ile rekabetçi yetkinlikler üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, Örgütsel Öğrenme Teorisi, Kaynak Tabanlı Görüş ve Dinamik Yetenekler yaklaşımlarını temel alarak, ÖYS'nin bilgi edinme, paylaşma ve kurumsallaştırma süreçlerini nasıl dönüştürdüğünü kavramsallaştırmaktadır. Çalışma ayrıca, teknoloji benimseme ve dijital dönüşüm kuramlarını birleştirerek, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik ve dijital ikiz gibi yeni teknolojilerin öğrenme sistemlerine entegrasyonunu değerlendirmektedir. Bu sentez doğrultusunda çalışma, ÖYS'nin lojistik yönetim sistemlerine entegrasyonunun geleneksel eğitim anlayışından veri temelli, uyarlanabilir ve sürekli öğrenme ekosistemlerine geçişi temsil ettiğini ileri sürmektedir. Öğrenme çıktılarının çeviklik, duyarlılık ve verimlilik gibi operasyonel performans göstergeleriyle ilişkilendirilmesi sayesinde ÖYS, stratejik yenilenmenin temel kolaylaştırıcısı hâline gelmektedir. Teorik açıdan, çalışma lojistik alanında öğrenme ve bilgi yönetimi ilişkisine çok düzeyli bir perspektif kazandırmakta; uygulama açısından ise, yöneticilere ÖYS'nin sadece eğitim aracı değil, aynı zamanda bilgi üretimi, çeviklik ve sürdürülebilir rekabet gücü için stratejik bir altyapı olarak nasıl konumlandırılabilceğine dair kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır. Sonuç olarak, bölüm, öğrenme teorisi ile lojistik uygulamaları arasındaki boşluğu kapatmaya katkı sağlamakta; dijital karmaşıklık ve sürdürülebilirlik çağında öğrenme sistemlerinin hem teknolojik omurga hem de kültürel dönüşümün katalizörü olduğunu vurgulamaktadır.

## Giriş

Lojistik sektörü, geleneksel operasyonel işlevlerden yapay zeka, makine öğrenimi (ML), Nesnelerin İnterneti (IoT), bulut bilişim gibi dijital teknolojilerin katkılarıyla benzeri görülmemiş bir dönüşüm yaşamaktadır (Chen vd., 2024). Aynı zamanda üretim, tüketim ve ticaret süreçleriyle ekonomik büyümeyi doğrudan etkileyen temel bir sektördür. Lojistik performansı yüksek ülkeler, ticaret hacmini ve ekonomik büyümeyi artırmakta, rekabet avantajı elde etmektedir (Akmalov ve Khalid, 2024). Öğrenme Yönetim Sistemleri (ÖYS), nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği ve blok zinciri gibi dijital lojistik teknolojileri, karmaşıklığı yönetmek, sürdürülebilirliği sağlamak ve lojistik operasyonlarındaki beceri açığını kapatmak için temel araçlar olarak gösterilmektedir (Chen vd., 2024; Babai vd., 2025). 2023 yılında, gelişmiş ekonomilerdeki lojistik firmalarının %68'inden fazlası dijital öğrenme platformlarını eğitim stratejilerine entegre ettiğini bildirmiştir. Bu durum öğrenme çevikliğinin stratejik bir yetenek olarak görülmeye başlandığını ortaya çıkarmıştır (Barykin vd., 2021).

Küresel ticaretin artan karmaşıklığı, pandemiler ve jeopolitik gerilimlerin yol açtığı aksaklıklar ve sürdürülebilir tedarik zincirlerine geçiş, lojistik kuruluşları üzerinde hızla öğrenme, uyum sağlama ve yenilik yapma konusunda oldukça yüksek bir baskı oluşturmuştur. Maersk'in 2024 Sürdürülebilirlik Raporu'nda, karbonsuzlaştırma ve otomasyondaki gelişen zorlukların üstesinden gelmek ve küresel operasyonlarında gerçek zamanlı öğrenmeyi sağlamak için AI tabanlı öğrenme sistemleriyle çalışan eğitimlerinin desteklendiği vurgulanmaktadır (Maersk, 2025). Sunulan bu örnek, lojistik öğreniminin geleneksel iş başında eğitimden dijitalleşmenin aracılık ettiği kurumsal öğrenmeye nasıl evrildiğini göstermektedir.

ÖYS teknolojilerinin hızlı gelişimine rağmen lojistik yönetimi ile teorik bakımdan ilişkisi yeterince netlik kazanmamıştır. Mevcut ÖYS araştırmalarının büyük bölümü, lojistik organizasyonlarının operasyonel ve davranışsal karmaşıklıklarını sıklıkla göz ardı ederek eğitim bağlamlarında veya genel kurumsal öğrenme ortamlarında yürütülmüştür (Cantor and Macdonald, 2009; Wu ve Huang, 2013; Kyndt vd., 2013). Bu nedenle, ÖYS entegrasyonunun lojistik öğrenme süreçlerini, bilgi paylaşımını ve dinamik yetenek gelişimini nasıl etkilediğine dair anlayış sınırlı kalmaktadır.

Teorik açıdan bakıldığında, lojistik yönetimi alanındaki araştırmalar genellikle operasyonel verimlilik ve performans ölçütlerine odaklanırken bilgi aktarımı, kodlama ve kurumsal hafıza gibi öğrenme mekanizmalarının sürdürülebilir rekabet avantajına nasıl katkıda bulunduğunu yeterince incelememiştir (Sandberg ve Åman, 2010; Esper vd., 2007). ÖYS genellikle

kurumsal öğrenme ve inovasyonun stratejik sağlayıcıları olmaktan ziyade idari eğitim araçlarına indirgenmiştir (Becker vd., 2013; Foroughi, 2021). Bu çalışmanın amacı, ÖYS'nin kurumsal öğrenmeyi geliştirerek ve dinamik yetenekleri güçlendirerek lojistik organizasyonlarını nasıl dönüştürebileceğini araştırmaktır. Özellikle ÖYS'nin bilgi paylaşımını, çevikliği, dayanıklılığı ve inovasyon kapasitesini artıracak biçimde yeniden yapılandırma faaliyetlerini nasıl desteklemekte olduğunu ortaya koymak hedeflenmektedir. Bu kapsamda çalışma, literatürdeki teorik ve ampirik boşlukları ele alarak kurumsal öğrenme teorisi ve dinamik yetenekler perspektifinin lojistik alanında entegrasyonunu ilerletmeyi ummaktadır.

Bu araştırma, dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik zorunlulukları arasında lojistik organizasyonlarının sürekli öğrenmeyi yönetme ihtiyacının artmasından kaynaklanmaktadır. Argyris ve Schön (1978), Nonaka ve Takeuchi (1995) ve Teece vd. (1997)'nin çalışmalarına dayanarak, bu bölüm ÖYS'yi tek döngülü ve çift döngülü öğrenmeyi, bilgi oluşturmaya ve dinamik yeteneklerin yenilenmesini destekleyen dijital bir altyapı olarak ele almaktadır. Temel argüman, etkili ÖYS entegrasyonunun lojistik organizasyonlarını sürekli adaptasyon ve inovasyon kapasitesine sahip öğrenen sistemlere dönüştürmekte olduğudur.

Bu kitap bölümü, lojistikte ÖYS dönüşümünü hem kuramsal hem de uygulamalı bir çerçevede incelemektedir. Bölüm, ilk olarak örgütsel öğrenme teorisi, bilgi yönetimi ve dinamik yetenekler kuramlarını temel alarak lojistik organizasyonlarında öğrenmenin stratejik önemini tartışmaktadır. Ardından, dijital dönüşüm, teknoloji benimseme ve yapay zeka destekli öğrenme sistemlerinin operasyonel verimlilik ve inovasyon üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Devam eden bölümler, ÖYS'nin lojistik süreçlere entegrasyonunu, örgütsel performansa katkılarını ve gelecekteki araştırma yönelimlerini ele almaktadır. Son olarak çalışma, dijitalleşme çağında öğrenme kültürünün kurumsal dayanıklılığın temel bileşeni hâline geldiğini savunmakta ve ÖYS'nin yalnızca eğitim araçları değil, aynı zamanda örgütsel bilgi üretiminin, çevikliğin ve sürdürülebilir rekabet gücünün altyapısı olarak stratejik bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır.

## **2. Teorik Temeller**

### **2.1 Örgütsel Öğrenme Teorisi ve Örgütlerde Öğrenme Yetenekleri**

Örgütsel öğrenme teorisi, firmaların performansını artırmak ve çevresel değişikliklere uyum sağlamak için örgütlerin bilgiyi nasıl elde ettiklerini, yaydıklarını ve kurumsallaştırdıklarını açıklamaktadır. Teoride, mevcut normlar içindeki hataları düzelten tek döngü öğrenme ile temel varsayımları ve zihinsel

modelleri sorgulayan çift döngü öğrenme arasında ayrıma gidilmektedir (Argyris ve Schön, 1978; Argyris, 2004). Öğrenen organizasyonlar, bireysel ve kolektif öğrenmeyi organizasyonel dönüşümle ilişkilendiren sistem düşüncesini, ortak vizyonu ve yansıtıcı diyalogu teşvik etmektedir (Senge, 1990; Crossan vd., 1999).

Lojistik bağlamda, operasyonel değişkenliğin azaltılması ve inovasyonun teşvik edilmesi amacıyla örgütsel öğrenme yetenekleri, üstün güvenilirlik ve rekabet avantajı ile ilişkilendirilmiştir (Esper vd., 2007; Hult vd., 2003). Ampirik araştırmalar, eylem sonrası değerlendirmeleri, bilgi kodlamayı ve işlevler arası yansıma mekanizmalarını içeren lojistik birimlerinin piyasa türbülanslarına karşı daha güçlü ve uyumlu tepkiler geliştirebildiğini göstermiştir (Sandberg ve Åman, 2010; Panayides, 2007). Bu tür öğrenme mekanizmaları, uzun vadeli rekabet gücünü sürdüren dinamik lojistik yeteneklerin geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır.

Açıklık, sorgulama ve risk alma ile karakterize edilen öğrenme odaklılık, örgüt içindeki bilgi paylaşımını ve süreç yenilikçiliğini artırmaktadır (Sinkula vd., 1997). Bu yaklaşım, bilgi edinme ve kullanma kapasitesi yüksek olan organizasyonların rekabet avantajı oluşturabilmekte olduğunu ortaya koyan Zahra ve George'nin (2002) görüşleriyle örtüşmektedir. Söz konusu kavramsal çerçeve, tedarik zinciri ağlarında bilgi paylaşımı ve yenilik süreçlerinin açıklanmasında da kullanılabilir. Crossan vd. (1999) ile Nonaka ve Takeuchi (1995), öğrenmenin bireysel sezgiden grup entegrasyonuna ve örgütsel kurumsallaşmaya kadar uzanan çoklu düzeylerde gerçekleşebildiğini ileri sürmüştür. ÖYS, çalışanların deneyimlerini ve uzmanlık bilgilerini kısa, erişimi kolay dijital içeriklere dönüştürerek öğrenme sürecini hızlandırmaktadır. Böylece lojistik alanındaki örtük (yazılı olmayan, deneyime dayalı) bilgi, yeniden kullanılabilir ve paylaşılabilir öğrenme materyallerine dönüştürülebilmektedir.

## **2.2 Lojistikteki ÖYS Uygulamalarına Teorik Yaklaşımlar**

Kaynak temelli yaklaşımda (RBV), bilgi, beceriler ve rutinler, organizasyonel sistemlere entegre edildiğinde değerli, nadir, taklit edilemez ve ikame edilemez stratejik varlıklar olarak kabul edilmektedir (Barney, 1991; Grant, 1996). Dinamik yetenekler, fırsatları algılamının, zamanında kaynak yeniden tahsisi yoluyla bu fırsatları değerlendirmenin ve rekabet gücünü korumak için yapıları dönüştürmenin önemini vurgulayarak bu çerçeveyi genişletmektedir (Teece vd., 1997; Eisenhardt ve Martin, 2000). Öğrenme, organizasyonların çevresel değişkenliğe uyum sağlamak için kaynaklarını ve

süreçlerini sürekli olarak yeniden yapılandırmalarını sağladığından, bu dinamik yeteneklerin mikro temeli olarak işlev görmektedir.

Lojistik hizmet sağlayıcılarında dinamik yetenekler, yanıt verme hızını, güvenilirliği ve maliyet performansını artıran öğrenme rutinleri ve bilgi paylaşımı süreçleri yoluyla ortaya çıkmaktadır (Chen vd., 2019; Hult vd., 2003). En iyi uygulamaları kodlamak, uzman dizinlerini korumak ve öğrenilen dersleri kurumsallaştırmak gibi etkili bilgi yönetimi uygulamaları, süreç farklılıklarını azaltmaya ve coğrafi olarak dağıtık tesisler arasında kurumsal öğrenmeyi hızlandırmaktadır (Durst ve Evangelista, 2018; Barykin vd., 2021).

ÖYS platformları, eğitim modülleri, standart çalışma prosedürleri (SOP'ler), denetimler ve sertifika verilerini birleşik öğrenme ortamlarına entegre ederek bilgi yönetimini işlevsel hale getirmektedir. Bu entegrasyon, organizasyonel hafızayı iş gücü devrinden korumakta ve ortaklar ile iştirakler arasında tutarlı bilgi yayılımını teşvik etmektedir (Wu ve Huang, 2013; Curado ve Teixeira, 2014). Ampirik bulgular, tedarik zinciri öğrenimini daha yüksek hizmet inovasyonu ve etkinliği oranlarıyla ilişkilendirerek, ÖYS'nin bilgi yeniden birleştirme ve yetenek geliştirme için dijital altyapılar olarak işlev gördüğü görüşünü desteklemektedir (Panayides, 2007; Hong vd., 2019).

### **2.3 Teknoloji Benimseme, Dijital Dönüşüm ve Öğrenme Sistemleri**

Kuruluşlar içinde teknolojinin kabulü, algılanan yararlılık ve kullanım kolaylığına bağlıdır ancak sürdürülebilir benimseme için kültürel uyum ve yönetim desteği gereklidir (Davis, 1989; Venkatesh, Morris, Davis ve Davis, 2003). IoT, büyük veri analitiği ve otomasyonun öncülüğünde lojistikte yaşanan dijital dönüşüm, günlük iş akışlarına entegre edilmiş sürekli ve zamanında öğrenme talebini artırmıştır (Koh ve Yuen, 2022; Foroughi, 2021). Uygun öğrenme altyapısı olmadan, dijital girişimler beceri eksiklikleri ve değişime direnç nedeniyle düşük performans riskiyle k arşı karşıya kalabilmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde yapay zeka kullanımına ilişkin araştırmalar, yeni teknolojilere karşı direncin aşılmasının yönetsel iletişim, çalışan bağlılığı ve değişim liderliğine bağlı olduğunu göstermektedir (Becker vd., 2013; Culot vd., 2024; Hendriksen, 2023). Bu nedenle, lojistik alanında bir ÖYS'nin kullanılması sadece teknolojik bir entegrasyon olarak değil aynı zamanda davranışsal ve kültürel hazırlık gerektiren bir girişim olarak da değerlendirilmelidir. Modern ÖYS platformları, öğrenme yollarını kişiselleştirmek, bağlamla ilgili içerik önermek ve eğitim sonuçlarını operasyonel temel performans göstergelerine bağlamak için yapay zeka kullanmaktadır; böylece öğrenme ve lojistik performansı arasındaki döngü etkili bir biçimde kapanmaktadır (Toorajipour vd., 2021; Logožar, 2025; Romero Marras vd., 2025).

Gelişmekte olan sürükleyici öğrenme teknolojileri—sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve dijital ikizler—lojistik çalışanlarına, gerçek operasyonları kesintiye uğratmadan karmaşık görevleri güvenli, simüle edilmiş ortamlarda uygulama olanağı sağlamaktadır. AR çözümleri, örneğin “pick-by-vision (görsel yönlendirmeli toplama)” türü akıllı gözlük uygulamalarıyla depo operatörlerinin eğitimini güvenli bir şekilde ve yüksek doğrulukla desteklemektedir (Lagorio vd., 2022; Maio vd., 2023). Pick-by-vision teknolojisi, toplama doğruluğunu artırmakta ve çalışanların iş süreçlerine daha hızlı adapte olmasını sağlamaktadır (Jumahat vd., 2023). Dijital ikiz yaklaşımları ise lojistik/tedarik zinciri süreçlerini sanal olarak çoğaltıp senaryo çalışmaları yapılmasına imkân tanıyarak eğitim ve operasyon tasarımını gerçek sistemlere zarar vermeden gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır (Liu vd., 2024). Bu bulgular, akıllı depo bağlamında sürükleyici ve simülasyon tabanlı eğitimin operasyonel performans göstergeleriyle ilişkilendirilebildiğini gösteren literatürle tutarlıdır (Zhen vd., 2022).

## **2.4 ÖYS'yi Organizasyonel Sistemlere Entegre Etmek için Kavramsal Çerçeve**

Burada geliştirilen kavramsal çerçeve, ÖYS'yi öğrenme girdilerini (içerik, uygulama ve işbirliği) lojistik performansını artıran bireysel, ekip ve organizasyonel yeteneklere dönüştüren aracı altyapılar olarak konumlandırmaktadır (Crossan vd., 1999; Nonaka ve Takeuchi, 1995). ÖYS'nin etkinliği, liderlik taahhüdü, organizasyonel kültür ve yapısal tasarım gibi bağlamsal kolaylaştırıcı faktörlere bağlıdır. Psikolojik güvenlik ve güçlü bir sorgulama kültürü ile desteklendiğinde, ÖYS'nin benimsenmesi çift döngü öğrenmeyi ve sürekli iyileştirmeyi hızlandırmaktadır (Argyris, 2004; Senge, 1990).

Teknik açıdan bakıldığında, ÖYS insan kaynakları bilgi sistemleri (HRIS), depo yönetim sistemleri (WMS), nakliye yönetim sistemleri (TMS), lojistik bilgi sistemleri (LIS) ve kurumsal kaynak planlama (ERP) platformlarıyla sorunsuz bir şekilde entegre olması gerekmektedir. Bu entegrasyon, otomatikleştirilmiş, rol tabanlı öğrenme ödevleri, uyumluluk takibi ve performansa bağlı mikro öğrenme müdahalelerine olanak tanımaktadır (Wu ve Huang, 2013). Bu uyum, öğrenme çıktılarının operasyonel metrikleri doğrudan etkilemesini sağlamaktadır.

Yetenek geliştirme yolları, ÖYS odaklı öğrenmeyi üç mekanizma aracılığıyla çeviklik, inovasyon ve dayanıklılıkla ilişkilendirir: algılama (çevre taraması ve bilgi edinme), fırsatları değerlendirme (hızlı beceri geliştirme ve problem çözme) ve dönüştürme (yeniden beceri kazandırma ve süreç yenileme). Bu dinamik süreçler nihayetinde teslim sürelerini, güvenliği ve hizmet kalitesini iyileştirmekte, Kirkpatrick'in dört seviyesi ve ROI analizi gibi titiz değerlendirme yöntemleri, öğrenme ve lojistik performansı arasındaki nedensel ilişkiyi doğrulamaktadır.

(Teece vd., 1997; Eisenhardt ve Martin, 2017; Kirkpatrick ve Kirkpatrick, 2006; Curado ve Teixeira, 2014).

### **3. Örgütsel Bağlamda Lojistik Yönetimi ve Öğrenme Gereksinimleri**

#### **3.1 Temel Lojistik Fonksiyonları ve Öğrenme Gereksinimleri**

Lojistik yönetimi; taşımacılık, depolama, envanter yönetimi ve dağıtım olmak üzere birbirine bağımlı dört temel işlevi kapsamaktadır. Bu işlevler bir araya gelerek, malların ve bilgilerin küresel tedarik zincirleri boyunca verimli bir biçimde hareketini sağlamaktadır. Her bir fonksiyon, kendine özgü bilgi birikimi, uzmanlık ve sürekli beceri yenilenmesini gerektirmektedir (Ceyhun vd., 2020). Taşımacılık, güzergâh planlama, zamanlama, yakıt optimizasyonu ve yasal mevzuata uyum konularında operasyonel bilgiye dayanmaktadır. Çalışanların, filo kullanımını optimize etmek ve karbon emisyonlarını azaltmak için gelişmiş güzergâh algoritmalarını ve dijital ikiz (digital twin) simülasyonlarını öğrenmeleri gerekmektedir (Pasupuleti vd., 2024; Babai vd., 2025). Depolama faaliyetleri ise otomasyon, robotik sistemler ve depo yönetim sistemleri (Warehouse Management Systems – WMS) üzerine kuruludur. Bu nedenle çalışanların dijital okuryazarlık ve veri analitiği konularında sürekli eğitim alması gerekmektedir (Koh ve Yuen, 2022). Envanter yönetimi, talep tahmini teknikleri, ABC analizi ve doğruluğu artırırken israfı azaltan yapay zeka destekli ikmal modellerinin anlaşılmasını zorunlu kılmaktadır (Eyo-Udo, 2025). Son olarak dağıtım fonksiyonları, koordinasyon, aktarma (cross-docking) verimliliği ve müşteri hizmetleri becerilerine dayanmaktadır. Bu alanlarda hizmet güvenilirliğine ilişkin en iyi uygulamaların öğrenme sistemlerine entegre edilmesi, müşteri memnuniyetini artırmaktadır (Barykin vd., 2021; Hult vd., 2003).

Bu lojistik işlevler içinde örgütsel öğrenme, bireysel ve kolektif öğrenme süreçlerinin bütünleşmesini gerektirmektedir. ÖYS platformları, sürücü deneyimi veya sipariş toplayıcı doğruluğu gibi örtük bilgileri (tacit knowledge) açık ve paylaşılabılır dijital modüllere dönüştürerek kurumsal bir bilgi havuzu oluşturmaktadır (Wu ve Huang, 2013). Eğitim programlarının teslim süresi, sipariş doğruluğu ve enerji kullanımı gibi performans göstergeleriyle (KPI) hizalanması sayesinde ÖYS, öğrenmenin doğrudan operasyonel performansa katkıda bulunmasını sağlamaktadır (Curado ve Teixeira, 2014). Dolayısıyla her bir temel lojistik alanında insan sermayesinin sürekli geliştirilmesi, yalnızca destekleyici bir faaliyet değil aynı zamanda stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir (Esper vd., 2007).

### 3.2 Lojistikte Öğrenme Gereksinimlerini Artıran Zorluklar

Küresel lojistik ortamı; karmaşıklık, küreselleşme, sürdürülebilirlik baskıları ve dijital dönüşüm gibi giderek artan zorluklarla karşı karşıya bulunmaktadır. Bu dinamikler, örgütsel öğrenme gereksinimini daha da yoğunlaştırmaktadır. Çok katmanlı tedarik zincirlerinin karmaşıklığı, uyarlanabilir karar alma becerilerini ve verilerden gerçek zamanlı öğrenme kapasitesini zorunlu kılmaktadır (Babai vd., 2025). Küreselleşme, kültürler arası iş birliğini artırmakta ve lojistik profesyonellerinin kültürler arası öğrenme ile iletişim becerilerini geliştirmesini gerektirmektedir (Haq vd., 2021).

Sürdürülebilirlik yönelimleri, çevresel farkındalıkla birlikte karbon muhasebesi, tersine lojistik tasarımı ve yeşil lojistik uygulamaları hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir (Sandberg ve Åman, 2010). Bununla birlikte, IoT sensörlerinden blok zinciri tabanlı izleme sistemlerine kadar uzanan dijital araçların yaygınlaşması hem yeni fırsatlar hem de ek öğrenme gereksinimleri doğurmaktadır (Koh ve Yuen, 2022).

Pandemiler, jeopolitik istikrarsızlıklar ve iklim kaynaklı felaketler gibi kesintiler, tedarik zincirlerinin kırılganlığını açık biçimde ortaya koymuştur. Örneğin COVID-19 pandemisi, küresel tedarik zincirlerinde benzeri görülmemiş aksaklıklara yol açarak talep dalgalanmaları ve lojistik darboğazlar nedeniyle ekonomik istikrarsızlık yaratmıştır (Shen ve Sun, 2023). Bu durum, örgütlerin yalnızca verimlilik odaklı değil aynı zamanda esnek, yenilikçi ve dayanıklı tedarik zinciri stratejileri geliştirmesinin gerekliliğini göstermiştir (Özdemir vd., 2022). Öğrenme sistemleri, krizlerden edinilen deneyimleri “eylem sonrası değerlendirmeler” (after-action reviews) ve dijital bilgi depoları aracılığıyla kurumsal bilgiye dönüştürebilmektedir (Argyris ve Schön, 1978; Panayides, 2007).

Krizlere verilen tepkilerin ardındaki varsayımları sorgulayan çift döngülü öğrenme (double-loop learning) süreçlerini benimseyen işletmeler, daha yüksek düzeyde uyarlanabilirlik ve dinamik yetenekler geliştirebilmektedir (Teece vd., 1997). Dolayısıyla lojistikte öğrenme, artık yalnızca teknik eğitimi değil aynı zamanda stratejik anlamlandırma, senaryo planlama ve davranışsal uyum yetkinliklerini de kapsamaktadır (Senge, 1990).

Sürdürülebilirlik temelli öğrenme de bu sürecin merkezinde yer almaktadır. ÖYS sistemleri, enerji verimliliği, döngüsel ekonomi lojistiği ve yasal uyum gibi konularda mikro eğitim modülleri sunarak sürdürülebilir uygulamaların tek seferlik girişimler olmaktan çıkıp örgütsel rutine dönüşmesini sağlamaktadır (Foroughi, 2021; Lazar vd., 2021). Dijitalleşme ile sürdürülebilirliğin giderek daha fazla kesişmesi, ÖYS’nin hem operasyonel hem de etik yetkinliklerin geliştirilmesindeki rolünü pekiştirmektedir (Romero Marras, 2025).

### 3.3 Lojistik Örgütlerinde İşgücü, Süreç ve Sistem Öğrenmesi

Lojistik örgütlerinde öğrenme, üç düzeyde eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir: iş gücü öğrenmesi, süreç öğrenmesi ve sistem öğrenmesi. Bu çok düzeyli öğrenme yaklaşımı hem bireysel hem de örgütsel kapasitenin güçlendirilmesinde tamamlayıcı bir yapı sunmaktadır (Esper vd., 2007). Literatürde, lojistik firmalarında öğrenme kültürünün ve öğrenme odaklı uygulamaların, insan kaynağı gelişimi, süreç iyileştirme ve bilgi yönetimi yoluyla örgütsel etkinliği ve yenilikçiliği artırdığı vurgulanmaktadır (Budihardjo ve Supriyadi, 2025). Özellikle, öğrenmenin bireysel (iş gücü), süreç ve sistem düzeylerinde gerçekleşmesi, lojistik organizasyonların değişen çevresel koşullara daha hızlı uyum sağlamasını ve rekabet avantajı elde etmesini mümkün kılmaktadır (Panayides, 2007; Ellinger vd., 2002).

İş gücü öğrenmesi, bireysel yetkinliklerin yapılandırılmış kurslar, mentorluk programları ve deneyim temelli görevlerle geliştirilmesini içermektedir. Bu öğrenme biçimi, çalışanların değişken piyasa koşullarına daha hızlı yanıt vermesini sağlayarak çeviklik ve yenilik yeteneklerini artırmaktadır (Hult vd., 2003; Esper vd., 2007). ÖYS teknolojileri, iş gücü öğrenmesini kişiselleştirilmiş içerikler, ilerleme takibi ve yetkinlikleri görev tanımlarıyla uyumlaştırma özellikleri aracılığıyla desteklemektedir (Chowdhury, 2025). Oyunlaştırılmış (gamified) unsurlar ve yapay zekâ destekli geri bildirim döngüleri, çalışan motivasyonunu artırmakta ve öğrenmenin kalıcılığını güçlendirmektedir (Romero Marras, 2025).

Süreç öğrenmesi, operasyonel rutinlerin sürekli iyileştirilmesine odaklanmaktadır. ÖYS sistemleri, gömülü analitikler ve performans panelleri (dashboards) aracılığıyla çalışanların sapmaları değerlendirmesine, süreç değişiklikleri önermesine ve edinilen dersleri paylaşmasına olanak sağlamaktadır (Wu ve Huang, 2013). Örneğin, bir depoda sipariş toplama hatalarının arttığı tespit edildiğinde, ÖYS verileri beceri boşluklarını belirleyebilmekte ve ilgili personele otomatik olarak tazeleme modülleri atanabilmektedir. Bu öğrenme–geri bildirim bütünlüğü, bilgi sistemlerinin operasyonel kontrolle nasıl etkileşime geçtiğinin bir göstergesidir (Sandberg ve Åman, 2010; Curado ve Teixeira, 2014).

Sistem öğrenmesi ise örgütsel düzeyde meydana gelmektedir. Bu düzeyde, kolektif deneyimler politika, standart ve kurumsal kültür biçiminde kurumsallaşmaktadır. Sistem öğrenmesi; bilgi depolarını, uygulama topluluklarını (communities of practice) ve işlevler arası öğrenme ağlarını içermektedir (Crossan, Lane ve White, 1999). ÖYS'nin bu bilgi depolarını kurumsal kaynak planlama (ERP) ve depo yönetim sistemleri (WMS) gibi kurumsal altyapılarla ilişkilendirmesi, örgütün bilişsel katmanını oluşturmaktadır. Böylece bilgi, küresel tesisler arasında yakalanmakta,

depolanmakta ve yeniden dağıtılmaktadır (Nonaka ve Takeuchi, 1995). Bu sistematik yaklaşım, dağınık öğrenme faaliyetlerini bütünlük bir örgütsel öğrenme mimarisine dönüştürmektedir (Argyris, 2004; Senge, 1990). Kültür ve liderlik, bu süreçte belirleyici bir rol oynamaktadır. Deneysel öğrenmeyi teşvik eden, hatalardan ders çıkarılmasına izin veren örgütlerde öğrenme davranışları daha güçlü biçimde gelişmektedir (Becker, 2013). Buna karşılık, katı hiyerarşik yapılarda geri bildirim bastırılmakta ve yenilik engellenmektedir. Bu nedenle liderlik taahhüdü ve destekleyici bir örgütsel iklim, ÖYS uygulamalarının başarısı için temel ön koşullar arasında yer almaktadır (Haq vd., 2021; Alduraywish vd., 2022).

### **3.4 Öğrenme Sonuçlarının Lojistik ve Örgütsel Performansla İlişkilendirilmesi**

Ampirik araştırmalar, örgütsel öğrenme kapasitesinin; çeviklik, tepki verme hızı, maliyet etkinliği ve hizmet güvenilirliği gibi temel lojistik performans göstergeleriyle güçlü biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Hult vd., 2003; Panayides, 2007). Öğrenme çıktıları genellikle teslim süresi, stok devir hızı, sipariş karşılama oranı (fill rate) ve çalışan verimliliği gibi performans ölçütlerindeki iyileşmelerle somutlaşmaktadır (Esper vd., 2007).

Öğrenme mekanizmalarını kurumsallaştıran işletmelerin, ilişki yönelimi ve lojistik hizmet etkinliği aracılığıyla müşteri memnuniyetini ve performansı artırdığı ampirik olarak gösterilmiştir (Panayides, 2007). ÖYS sistemleri, eğitim katılımı, değerlendirme sonuçları ve operasyonel KPI'lar arasındaki ilişkiyi gösteren veri analitiği sağlayarak bu bağı görünür kılmaktadır (Curado ve Teixeira, 2014). Bu ilişkileri açıklayan temel teorik çerçeve, dinamik yetenekler teorisidir. Öğrenme; çevredeki değişimleri algılama (sensing), hızlı beceri geliştirme yoluyla fırsatları değerlendirme (seizing) ve stratejik yenilenme için örgütsel rutinleri dönüştürme (transforming) süreçlerini desteklemektedir (Teece vd., 1997; Eisenhardt ve Martin, 2000). ÖYS, bu dinamik süreçlerin gerçekleştiği dijital altyapıyı oluşturmaktadır. Bilgiyi gerçek zamanlı olarak yakalayarak örgütsel katmanlar arasında yeniden dağıtan ÖYS sistemleri, öğrenme çıktılarının performans iyileştirmelerine yansımaları güvence altına almaktadır (Nonaka ve Takeuchi, 1995). Böylece öğrenme, yalnızca bir insan kaynakları işlevi olmaktan çıkarak lojistik stratejisinin özüne yerleşmiş temel bir örgütsel yetkinlik hâline gelmektedir (Barney, 1991; Grant, 1996).

Öğrenmenin değerini kanıtlamak için etkin ölçüm büyük önem taşımaktadır. Kirkpatrick'ın dört düzeyli değerlendirme modeli (tepki, öğrenme, davranış ve sonuç) ÖYS analizlerine uygulanarak eğitim etkinliği ölçülebilmektedir (Kirkpatrick ve Kirkpatrick, 2006). Yatırım getirisi (ROI) analizleriyle nitel geri

bildirimlerin birleştirilmesi, işletmelere en yüksek operasyonel etkiyi sağlayan öğrenme yatırımlarını önceliklendirme olanağı sunmaktadır (Curado ve Teixeira, 2014). Bu kanıt dayalı yaklaşım, öğrenme girişimleri ile lojistik performans hedefleri arasındaki stratejik uyumu güçlendirmektedir.

Sonuç olarak, öğrenme çıktıları yalnızca operasyonel göstergeleri değil aynı zamanda daha geniş bir örgütsel başarıyı da beslemektedir. Bu çıktılar, çalışan bağlılığını, bölümler arası iş birliğini ve işletmenin “öğrenen organizasyon” kimliğini güçlendirmektedir (Senge, 1990). Dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik geçişleriyle karakterize edilen değişken bir ortamda, ÖYS sistemleri hem teknolojik bir omurga hem de sürekli öğrenme ve uyum için kültürel bir katalizör işlevi görmektedir (Teece, 2018; Romero Marras, 2025).

#### **4. Lojistik Kuruluşları için ÖYS Teknolojileri ve Özellikleri**

##### **4.1 ÖYS Teknolojilerine Genel Bakış**

Modern Öğrenme Yönetim Sistemleri (ÖYS), temel eğitim araçlarından karmaşık, modüler kurumsal sistemlere evrilmiştir (Shurygin vd., 2021). Bu platformlar, çeşitli kurumsal işlevlerle entegre olurken içerik, değerlendirmeler, öğrenen verileri ve analizleri yönetmektedir. Günümüzde ÖYS mimarileri genellikle bulut tabanlıdır ve coğrafi olarak dağınık lojistik operasyonlarında esneklik ile ölçeklenebilirlik sağlamaktadır (Ramírez-Correa vd., 2017). Temel bileşenler arasında içerik depoları, öğrenme yolu tasarımcıları, değerlendirme motorları ve izleme panoları yer almaktadır. Bu modüler öğeler, farklı organizasyonel bağlamlara uyarlanabilmekte ve sürücüler, depo personeli ile tedarik zinciri planlayıcıları gibi farklı eğitim ihtiyaçları bulunan lojistik firmaları için özelleştirme olanağı sunmaktadır (Han ve Shin, 2016).

ÖYS platformları, öğrenenlerin katılımı, performansı ve beceri eksiklikleri hakkında gerçek zamanlı içgörüler sağlayan öğrenme analitiğini giderek daha fazla içermektedir (Rakoczi, 2010). ÖYS ve öğrenme analitiği panellerinin, öğrenme çıktıları ile operasyonel KPI’ların (ör. süreç akışı, etkileşim sıklığı, öğrenme sonuçları) izlenmesi ve analizinde kullanıldığı belirtilmektedir (Krumova, 2023). Ayrıca, öğrenme analitiği panellerinin yöneticilere ve eğitmenlere eyleme dönüştürülebilir öneriler sunarak operasyonel kararlarla entegre edilebildiği vurgulanmaktadır (Sušnjaköo vd., 2022). Kullanıcı arayüzü tasarımı da mobil duyarlılık ve sezgisel navigasyona odaklanarak, hareket hâlinde erişim gerektiren lojistik ortamlarında kritik öneme ulaşmıştır (Romanovs ve Merkuryev, 2019). Organizasyonel sistemler açısından değerlendirildiğinde, ÖYS’ler stratejik bilgi sistemleri olarak işlev görmek ve öğrenmeyi günlük iş akışlarına entegre etmektedir (Sullivan, 2021).

## 4.2 Lojistiğe Özgü İşlevler

Genel ÖYS işlevleri idari ve eğitim ihtiyaçlarını karşılarken, lojistik firmaları sektöre özgü işlevlere gereksinim duymaktadır. Bu bağlamda önemli alanlardan biri, rota optimizasyonu eğitimidir. Entegre simülasyon modülleri, nakliye personelinin araç rota senaryolarını anlamasına ve uygulamasına yardımcı olarak yakıt verimliliğini ve hizmet güvenilirliğini artırmaktadır (Tripicchio vd., 2022). ÖYS'ler, kentsel ortamlarda son kilometre lojistiği gibi karmaşık teslimat senaryolarını simüle ederek uyarlanabilir planlama stratejilerinin öğretimini desteklemektedir.

Depolama alanında, ÖYS'lerin depo otomasyon sistemleriyle entegrasyonu, robotik, otomatik toplama ve güvenlik protokolleri konusunda eğitim sağlamaktadır. ÖYS platformlarına entegre edilmiş Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) modülleri, sürükleyici bir işe alım deneyimi için depo iş akışlarını simüle etmektedir (He, 2022; Yigitbas vd., 2020). AR sistemleri, depo çalışanlarına gerçek zamanlı, görsel talimatlar sunarak toplama hatalarını ve tamamlanma süresini önemli ölçüde azaltmaktadır. Grafik tabanlı arayüz kullanan AR uygulamaları, iş tamamlama süresini %13, hata oranını ise %59 oranında azaltabilmektedir (Kim vd., 2019).

Lojistik ortamlarının sanal temsilleri olan dijital ikizler, depo veya dağıtım merkezi operasyonlarını taklit ederek eğitimin gerçekçiliğini artırmaktadır. Katılımcılar, kontrollü bir dijital ortamda ekipman arızası veya talep artışları gibi kesinti senaryolarını deneyimleyebilmektedir (Grefen vd., 2018). Nesnelerin İnterneti (IoT) veri akışlarıyla entegrasyon, bu simülasyonların gerçek zamanlı operasyonel verileri yansıtmasını sağlayarak karar verme yetkinliğini güçlendirmektedir (Sullivan, 2021).

ÖYS platformları artık lojistik analitiği eğitimi için modüller de içermektedir. Bu kurslar, tedarik zinciri profesyonellerine gösterge tabloları yorumlamayı, performans ölçütlerini değerlendirmeyi ve tahmine dayalı analitik araçları kullanmayı öğretmektedir. Lojistik giderek veri odaklı hale geldikçe bu çok önemlidir (Romanovs ve Merkuryev, 2019). Örgütsel davranış açısından, bu işlevler deneyimsel öğrenmeyi teşvik etmekte, motivasyonu artırmakta ve sürekli beceri geliştirme kültürünü yerleştirmektedir (Becker, 2013).

## 4.3 Kurumsal Sistemlerle Entegrasyon

Lojistikte etkili ÖYS uygulaması, Kurumsal Kaynak Planlama (KKP), Lojistik Bilgi Sistemleri (LBS) ve Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) platformları gibi kurumsal sistemlerle entegrasyon gerektirmektedir. Yapısal açıdan bu, API'ler ve Experience API (xAPI) gibi veri standartlarını kullanarak teknik birlikte

çalışabilirlik yoluyla sistemler arasında kesintisiz veri akışını sağlamaktadır (Grefen vd., 2018).

Süreç entegrasyonu, öğrenmenin operasyonel iş akışlarına dahil edilmesini sağlamaktadır. Örneğin, KKP analitiği toplama hatalarında bir artış tespit ettiğinde, ÖYS ilgili çalışanlara otomatik olarak hedefli eğitim atayabilmektedir. Bu, öğrenmeyi performans iyileştirmeye uyumlu hâle getirerek tam zamanında eğitim (just-in-time learning) anlayışını güçlendirmektedir (Zollo ve Winter, 2002). Entegrasyon aynı zamanda otomasyonu da kolaylaştırmaktadır; insan kaynakları sistemindeki güncellemeler ÖYS atamalarını tetikleyerek rol tabanlı yetkinlik yönetimini desteklemektedir (Han ve Shin, 2016).

Davranışsal açıdan bu tür entegrasyonlar, çalışanların eğitimi ek bir faaliyet olarak değil işlerinin doğal bir parçası olarak algılamalarını teşvik etmektedir. LBS arayüzleri (ör. WMS gösterge panelleri) içindeki ÖYS uyarıları, çalışma sırasında eğitimi normalleştirmektedir. Ancak bu süreç, yönetim desteği, korunan öğrenme zamanı ve açık iletişim gerektirmektedir (Alduraywish vd., 2022). İnsan kaynakları, bilgi teknolojileri ve operasyon birimleri arasında işlevler arası koordinasyon, sistem etkileşimlerinin etkin biçimde yönetilmesi açısından önem taşımaktadır (Grefen vd., 2018). Stratejik olarak, entegre ÖYS sistemleri dinamik yeteneklerin itici gücü haline gelmektedir. Departmanlar arasında öğrenme döngülerini kurumsallaştırarak, teknolojik değişimlere, uyum gereksinimlerine veya performans düşüşlerine hızlı tepki verilmesini sağlamaktadır (Teece vd., 1997).

#### **4.4 Lojistik için ÖYS'de Ortaya Çıkan Teknolojiler**

Ortaya çıkan teknolojiler, ÖYS işlevselliğini dönüştürmektedir. Yapay Zeka (AI), bireysel performans, iş rolü ve operasyonel verilere dayalı uyarlanabilir içerik önerileriyle kişiselleştirilmiş öğrenmeyi olanaklı kılmaktadır (Chowdhury, 2025). Yapay zeka sohbet robotları, gecikme yönetimi veya rota yeniden planlama prosedürleri gibi lojistikle ilgili soruları yanıtlayarak gerçek zamanlı öğrenme asistanları olarak işlev görmektedir (Sullivan, 2021).

Makine öğrenimi (ML), öğrenme sonuçlarını tahmin ederek ve eğitim eksikliklerini belirleyerek analitik kapasiteyi geliştirmektedir. Örneğin, algoritmalar değerlendirme verilerini analiz ederek kurs sıralamasını düzenleyebilmekte veya yenileme eğitimi önerebilmektedir (Chen vd., 2025). ML'nin bir alt alanı olan pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning – RL), öğrenenlerin etkileşimlerine göre eğitim yollarını uyarlanabilir biçimde optimize ederek katılımı ve kalıcılığı artırabilmektedir (Lou vd., 2025).

Genellikle AI ile desteklenen VR ve AR teknolojileri, simüle edilmiş lojistik ortamlarda sürükleyici eğitim sağlamaktadır. Örnekler arasında forklift kullanımı, acil durum müdahalesi ve çapraz yükleme koordinasyonu yer almaktadır. Bu

araçlar, gerçek operasyonları kesintiye uğratmadan deneyimsel öğrenme olanağı sunmaktadır. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla paketlerin konumunu ve işlem sırasını anlık olarak görebilmektedir (Hashimoto vd., 2025; Patle vd., 2019; Ieva vd., 2025).

Örgütsel öğrenme teorisi perspektifinden bakıldığında, bu teknolojiler yetenek geliştirmenin hızını, ölçeğini ve hassasiyetini artırmaktadır. Zollo ve Winter'ın (2002) kasıtlı öğrenme mekanizmalarının dinamik yeteneklerin gelişmesinde temel rol oynadığı yönündeki görüşünü desteklemektedir. Lojistikte bu durum, otomasyona, uyum değişikliklerine ve pazar taleplerine daha hızlı adaptasyon anlamına gelmektedir. Ancak, benimseme zorlukları devam etmektedir. Kuruluşların direnci yönetmesi, dijital araçlara yönelik oryantasyon sağlaması ve yapay zekanın etik kullanımını güvence altına alması gerekmektedir (Alduraywish vd., 2022). Algoritmik karar verme süreçlerinde güvenin inşa edilmesi için ÖYS'nin neden belirli bir kursu önerdiğini açıklayabilmesi büyük önem taşımaktadır (Sullivan, 2021). Özetle, yeni teknolojiler ÖYS platformlarını yalnızca eğitim araçları değil aynı zamanda kurumsal öğrenme altyapıları olarak da konumlandırmaktadır. Etkili biçimde tasarlanıp yönetildiklerinde, dinamik lojistik ortamlarında çevikliği, inovasyonu ve sürdürülebilir rekabet gücünü artırmaktadırlar.

## **Sonuç**

Bu çalışma, lojistik sektöründe ÖYS stratejik önemini ve dönüşen işlevini hem kuramsal hem de uygulamalı bir bakış açısıyla ele almıştır. Bulgular, lojistik organizasyonlarının karmaşık, dinamik ve teknoloji odaklı doğası gereği, bilgi yönetimi ve yetkinlik geliştirme süreçlerinde geleneksel öğrenme yöntemlerinin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. ÖYS, bu bağlamda yalnızca eğitim aracı değil aynı zamanda kurumsal bilgi üretimi, paylaşımı ve sürekliliğini sağlayan bütüncül bir öğrenme altyapısı olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, örgütsel öğrenmenin temel ilkelerinin (hata düzeltme, bilgi kodlama, paylaşma ve kurumsallaştırma) dijital platformlar aracılığıyla yeniden yapılandığını göstermiştir. Bu yeniden yapılanma, lojistik işletmelerin çevresel değişimlere daha hızlı yanıt verebilmesini, çalışanların öğrenme hızını artırmasını ve bilgi kaybı riskini azaltmasını sağlamaktadır.

Araştırmanın kuramsal katkısı, Örgütsel Öğrenme Teorisi, Kaynak Tabanlı Görüş ve Dinamik Yetenekler yaklaşımının ÖYS bağlamında bütünleştirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu kuramsal üçleme, lojistik organizasyonlarında bilgiye dayalı yeteneklerin nasıl geliştiğini ve sürdürülebilir rekabet avantajının hangi öğrenme süreçleri üzerinden inşa edildiğini açıklamaktadır. Çalışmada ÖYS, dinamik yeteneklerin mikro temellerinden biri olarak ele alınmıştır; çünkü sistemler,

işletmelerin fark etme, yakalama ve dönüştürme süreçlerini destekleyen dijital mekanizmalar haline gelmiştir. Bu açıdan ÖYS, işletmelerin değişen pazar koşullarına uyum sağlama hızını artırmakta, örgütsel çevikliğe katkı sunmakta ve öğrenmeyi ölçülebilir bir performans bileşenine dönüştürmektedir.

Çalışmanın önemli bulgularından biri, ÖYS'nin teknolojik gelişmelerle birlikte evrildiği yönündedir. Özellikle yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, sanal simülasyonlar ve dijital ikiz teknolojileri, öğrenmeyi deneyimsel ve veri temelli bir süreçte dönüştürmektedir. Bu teknolojiler, lojistik operasyonlarında çalışanların karmaşık görevleri risk almadan öğrenebilmesini, hataları simülasyon ortamında deneyimleyerek önlemesini ve performanslarını gerçek zamanlı olarak geliştirmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum hem bireysel öğrenme kapasitesini hem de örgütsel öğrenme hızını artırarak bilgi tabanlı rekabetin önünü açmaktadır. Ayrıca ÖYS, veri analitiği desteğiyle öğrenme çıktılarını izleyebilmekte ve bu çıktıları operasyonel göstergelerle ilişkilendirerek yönetsel karar süreçlerine bilgi sağlamaktadır. Bu yönüyle sistemler, lojistik performansın önemli belirleyicileri olan doğruluk, hız, maliyet ve müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen stratejik araçlara dönüşmektedir.

Uygulama açısından çalışma, lojistik firmalarında ÖYS'nin etkin kullanımının yalnızca teknolojik bir yatırım değil, aynı zamanda kültürel bir dönüşüm gerektirdiğini vurgulamaktadır. Kurumsal öğrenme kültürünün güçlendirilmesi, liderlik desteğinin sağlanması, örgütsel dirençle başa çıkılması ve öğrenmeyi teşvik eden ödüllendirme sistemlerinin oluşturulması, sistemlerin başarısı açısından belirleyici unsurlardır. ÖYS'nin, insan kaynakları, tedarik zinciri yönetimi ve operasyonel süreçlerle entegre edilmesi ise öğrenmenin doğrudan performans sonuçlarına yansımaları kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle işletmelerin dijital dönüşüm stratejilerinde ÖYS'yi merkezî bir bileşen olarak konumlandırması hem bilgi yönetimi verimliliğini hem de çalışan bağlılığını artıran sürdürülebilir bir öğrenme ekosistemi yaratacaktır.

Araştırmanın kısıtlılıkları, öncelikle çalışmanın kavramsal düzeyde yürütülmüş olmasından kaynaklanmaktadır. Bulgular, literatür sentezi ve teorik çerçeveler üzerinden elde edilmiş olup, ampirik verilerle desteklenmemiştir. ÖYS'nin uzun vadeli performans etkilerinin ölçülmesi, öğrenme kültürü ile teknolojik olgunluk arasındaki etkileşimin analiz edilmesi ve yapay zekâ destekli öğrenme modüllerinin çalışan davranışlarına etkisinin araştırılması, gelecekteki çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bağlamda, ÖYS'nin sadece eğitim teknolojisi değil, aynı zamanda örgütsel bilgi mimarisi ve stratejik dönüşüm aracı olarak yeniden ele alınması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- Akmalov, O., & Khalid, S. (2024). The impact of logistics on global economic development: A comprehensive review. *The American Journal of Management and Economics Innovations*, 6(02), 40–43.
- Alduraywish, Y., Patsavellas, J., & Salonitis, K. (2022). Critical success factors for improving learning management systems diffusion in KSA HEIs: An ISM approach. *Education and Information Technologies*, 27(1), 1105–1131.
- Argyris, C. (2004). *Reasons and rationalizations: The limits to organizational knowledge*. Oxford: Oxford University Press.
- Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Babai, M. Z., Arampatzis, M., Hasni, M., Lolli, F., & Tsadiras, A. (2025). On the use of machine learning in supply chain management: A systematic review. *IMA Journal of Management Mathematics*, 36(1), 21–49.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
- Barykin, S. Y., Rasskazova, O., Evseeva, O., Evseeva, S., & Ostapenko, G. (2021). Staff training digitalization as value creation process in companies. *International Journal of Entrepreneurship*, 25, 1–17.
- Becker, K., Newton, C., & Sawang, S. (2013). A learner perspective on barriers to e-learning. *Australian Journal of Adult Learning*, 53(2), 211–233.
- Budihardjo, A., & Supriyadi, F. (2025). Learning culture and organizational effectiveness in emerging market: An exploratory study in the logistics industry. *European Journal of Business and Management Research*, 10(1), 1–7.
- Cantor, D. E., & Macdonald, J. R. (2009). Decision-making in the supply chain: Examining problem solving approaches and information availability. *Journal of Operations Management*, 27(3), 220–232.
- Ceyhun, G. C., & Keser, H. Y. (2020). Introduction to international transportation and logistics. In *Handbook of Research on the Applications of International Transportation and Logistics for World Trade* (pp. 1–17). Hershey, PA: IGI Global Scientific Publishing.
- Chen, I. S., Fung, P. K., & Yuen, S. S. (2019). Dynamic capabilities of logistics service providers: Antecedents and performance implications. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 31(4), 1058–1075.
- Chen, J., Zhou, X., Yao, J., & Tang, S. K. (2025). Application of machine learning in higher education to predict students' performance, learning

- engagement and self-efficacy: A systematic literature review. *Asian Education and Development Studies*, 14(2), 205–240.
- Chen, W., Men, Y., Fuster, N., Osorio, C., & Juan, A. A. (2024). Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. *Sustainability*, 16(21), 9145.
- Chowdhury, S. A., Barsa, N. J., Fuad, M. N., Nath, A., Khan, S. R., & Aziz, F. (2025). How AI is reshaping employee training and development: Insights from HR professionals. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5220821>
- Crossan, M. M., Lane, H. W., & White, R. E. (1999). An organizational learning framework: From intuition to institution. *Academy of Management Review*, 24(3), 522–537.
- Culot, G., Podrecca, M., & Nassimbeni, G. (2024). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review of empirical studies and research directions. *Computers in Industry*, 162, 104132.
- Curado, C., & Martins Teixeira, S. (2014). Training evaluation levels and ROI: The case of a small logistics company. *European Journal of Training and Development*, 38(9), 845–870.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Durst, S., & Evangelista, P. (2018). Logistics knowledge management: State of the art and future perspectives. *Knowledge Management Research & Practice*, 16(4), 427–434.
- Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2017). Dynamic capabilities: What are they? In *The SMS Blackwell Handbook of Organizational Capabilities* (pp. 341–363). Oxford: Blackwell Publishing.
- Ellinger, A. E., Ellinger, A. D., & Keller, S. B. (2002). Logistics managers' learning environments and firm performance. *Journal of Business Logistics*, 23(1), 19–37.
- Esper, T. L., Fugate, B. S., & Davis-Sramek, B. (2007). Logistics learning capability: Sustaining the competitive advantage gained through logistics leverage. *Journal of Business Logistics*, 28(2), 57–82.
- Foroughi, A. (2021). Supply chain workforce training: Addressing the digital skills gap. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 11(3), 683–696.
- Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17(S2), 109–122.

- Grefen, P., Hofman, W., Dijkman, R., Veenstra, A., & Peters, S. (2018). An integrated view on the future of logistics and information technology. *arXiv preprint arXiv:1805.12485*.
- Han, I., & Shin, W. S. (2016). The use of a mobile learning management system and academic achievement of online students. *Computers & Education*, 102, 79–89.
- Haq, M. Z. U., Gu, M., & Huo, B. (2021). Enhancing supply chain learning and innovation performance through human resource management. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 36(3), 552–568.
- Hashimoto, N., Wakita, W., Okumura, S., & Saga, T. (2025). Evaluation of forklift workers' perception accuracy of the carried cargo weight using a virtual reality simulator. *IEEE Access*.
- He, D. (2022). Teaching practices of a warehousing management curriculum based on virtual reality simulation technology. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 17(9), 96–109.
- Hendriksen, C. (2023). Artificial intelligence for supply chain management: Disruptive innovation or innovative disruption? *Journal of Supply Chain Management*, 59(3), 65–76.
- Hong, J., Zheng, R., Deng, H., & Zhou, Y. (2019). Green supply chain collaborative innovation, absorptive capacity and innovation performance: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118377.
- Hult, G. T. M., Ketchen Jr, D. J., & Nichols Jr, E. L. (2003). Organizational learning as a strategic resource in supply management. *Journal of Operations Management*, 21(5), 541–556.
- Ieva, S., Bilenchi, I., Gramegna, F., Pinto, A., Scioscia, F., Ruta, M., & Loseto, G. (2025). Enhancing last-mile logistics: AI-driven fleet optimization, mixed reality, and large language model assistants for warehouse operations. *Sensors*, 25(9), 2696.
- Jumahat, S., Sidhu, M. S., & Shah, S. M. (2023). A review on the positive implications of augmented reality pick-by-vision in warehouse management systems. *Acta Logistica*, 10(1), 1–10.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., & Gabbard, J. L. (2019). Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking. *Applied Ergonomics*, 74, 186–193.
- Kirkpatrick, D., & Kirkpatrick, J. (2006). *Evaluating training programs* (3rd ed.). San Francisco: Berrett-Koehler Publishers.

- Koh, L. Y., & Yuen, K. F. (2022). Emerging competencies for logistics professionals in the digital era: A literature review. *Frontiers in Psychology*, 13, 965748.
- Krumova, M. (2023). Research on LMS and KPIs for learning analysis in education. *Smart Cities*, 6(1), 626–638.
- Kyndt, E., Govaerts, N., Claes, T., De La Marche, J., & Dochy, F. (2013). What motivates low-qualified employees to participate in training and development? A mixed-method study on their learning intentions. *Studies in Continuing Education*, 35(3), 315–336.
- Lagorio, A., Di Pasquale, V., Cimini, C., Miranda, S., & Pinto, R. (2022). Augmented reality in logistics 4.0: Implications for the human work. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 329–334.
- Lazar, S., Klimecka-Tatar, D., & Obrecht, M. (2021). Sustainability orientation and focus in logistics and supply chains. *Sustainability*, 13(6), 3280.
- Liu, Y., Pan, S., & Ballot, E. (2024). Unveiling the potential of digital twins in logistics and supply chain management: Services, capabilities, and research opportunities. *Digital Engineering*, 3, 100025.
- Logožar, K. (2024). The role of artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *ENTRENOVA – ENTERprise REsearch INNOVation*, 10(1).
- Lou, H., Yue, P., & Chen, J. (2025). Research on adaptive education path dynamic programming algorithm based on reinforcement learning and cognitive graphs. *IEEE Access*, 13, 105446–105462.
- Maersk. (2025). *Maersk Annual Report 2024*. Copenhagen: A.P. Moller – Maersk A/S. Erişim: <https://investor.maersk.com/financial-reports>
- Maio, R., Santos, A., Marques, B., Ferreira, C., Almeida, D., Ramalho, P., Batista, J., Dias, P., & Santos, B. S. (2023). Pervasive augmented reality to support logistics operators in industrial scenarios: A shop floor user study on kit assembly. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 127(3), 1631–1649.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Özdemir, D., Sharma, M., Dhir, A., & Daim, T. (2022). Supply chain resilience during the COVID-19 pandemic. *Technology in Society*, 68, 101847.
- Panayides, P. M. (2007). The impact of organizational learning on relationship orientating, logistics service effectiveness and performance. *Industrial Marketing Management*, 36(1), 68–80.

- Pasupuleti, V., Thuraka, B., Kodete, C. S., & Malisetty, S. (2024). Enhancing supply chain agility and sustainability through machine learning: Optimization techniques for logistics and inventory management. *Logistics*, 8(3), 73.
- Patle, D. S., Manca, D., Nazir, S., & Sharma, S. (2019). Operator training simulators in virtual reality environment for process operators: A review. *Virtual Reality*, 23(3), 293–311.
- Rakoczi, G. (2023, June). The future of LMS platforms: What will be the challenges, roles and opportunities for decades to come? In *Conference Proceedings: The Future of Education 2023*.
- Ramírez-Correa, P. E., Rondan-Cataluña, F. J., Arenas-Gaitan, J., & Alfaro-Perez, J. L. (2017). Moderating effect of learning styles on a learning management system's success. *Telematics and Informatics*, 34(1), 272–286.
- Romanovs, A., & Merkuriev, Y. (2019). Active learning approach in teaching logistics and supply chain management. In *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 1032–1037). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8880019>
- Romero Marras, J. J., De la Torre, L., & Chaos García, D. (2025). Warehouse game training: A gamified logistics training platform integrating ChatGPT, DeepSeek, and Grok for adaptive learning. *Applied Sciences*, 15(12), 6392.
- Sandberg, E., & Åman, P. (2010). Logistics learning mechanisms and capabilities: Towards an understanding of sustainable competitive advantage. *Logistics Research*, 2(2), 97–108.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday.
- Shen, Z. M., & Sun, Y. (2023). Strengthening supply chain resilience during COVID-19: A case study of JD.com. *Journal of Operations Management*, 69(3), 359–383.
- Shurygin, V., Saenko, N., Zekiy, A., Klochko, E., & Kulapov, M. (2021). Learning management systems in academic and corporate distance education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 16(11), 121–139.
- Sinkula, J. M., Baker, W. E., & Noordewier, T. (1997). A framework for market-based organizational learning: Linking values, knowledge, and behavior. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 25(4), 305–318.

- Sułkowski, Ł., Kolańska-Morawska, K., Buła, P., Seliga, R., & Morawski, P. (2022). E-learning: Technology in teaching logistics. *International Journal of Contemporary Management*, 58(4), 28–36.
- Sullivan, M. (2021). Demystifying the impacts of the fourth industrial revolution on logistics. In M. Sullivan & J. Kern (Eds.), *The Digital Transformation of Logistics* (pp. 1–25). <https://doi.org/10.1002/9781119646495.ch1>
- Sušnjak, T., Ramaswami, G. S., & Mathrani, A. (2022). Learning analytics dashboard: A tool for providing actionable insights to learners. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 12.
- Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 51(1), 40–49.
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517.
- Tripicchio, P., D'Avella, S., & Unetti, M. (2022). Efficient localization in warehouse logistics: A comparison of LMS approaches for 3D multilateration of passive UHF RFID tags. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120(7), 4977–4988.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.
- Wu, Y. C. J., & Huang, S. K. (2013). Making on-line logistics training sustainable through e-learning. *Computers in Human Behavior*, 29(2), 323–328.
- Yigitbas, E., Jovanovikj, I., Scholand, J., & Engels, G. (2020, November). VR training for warehouse management. In *Proceedings of the 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 1–3).
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185–203.
- Zollo, M., & Winter, S. G. (2002). Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities. *Organization Science*, 13(3), 339–351.

### **3. Bölüm**

## **Lojistikte Alternatif Yakıtlar: Teknoloji Odaklı Yaklaşım**

**Öğr. Gör. Dr. Hayrullah ALTINOK<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi, Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, haltinok@bandirma.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6844-9160

## GİRİŞ

Lojistik sektörü küresel ticaretin en önemli tamamlayıcı sektörüdür. Toplam Dünya mal ihracatı 2024 yılında 24 trilyon doları aşmıştır. Bu malların üretimi öncesinde, üretiminde ve üretim sonrası müşteriye ulaştırılması aşamasında lojistik can damarıdır. Bu durum lojistik sektörünün önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır (Katrakylidis ve Madas, 2019). Elbette bu kadar önemli bir sektörün pozitif dışsallıkları olduğu gibi negatif dışsallıkları da mevcuttur (Villani ve Greco, 2018). Lojistiğin negatif dışsallıkları arasında şüphesiz çevre kirliliği en önemli paya sahiptir. Lojistik çevre kirliliği türlerinin (Hava, su, toprak, görüntü, gürültü) hepsine yüksek derecede etki etmektedir. Çevre kirliliği türlerinden en fazla etkilediği tür olarak hava kirliliği öne çıkmaktadır. Lojistik faaliyetlerden dolayı hava kirliliğinin artmasını sağlayan en önemli etken ise lojistikte kullanılan enerjinin büyük çoğunluğunun yenilenemez (fosil yakıtlardan) oluşmasıdır. Fosil yakıtlara olan talep dünya genelinde olduğu gibi lojistik sektöründe de artış göstermektedir. Bu artışın temel nedeni olarak artan küresel ticaret, üretilen mal miktarındaki artış, nüfus artışı sonucu artan ihtiyaçlar, tüketici davranışlarındaki farklılıklar gösterilebilir (Altınok, 2023; Loucanova vd., 2024).

Lojistik sektörü dünya üzerinde enerji üretimi ve imalat sektöründen sonra en fazla karbon salınımına yol açan üçüncü paydaş olarak karşımıza çıkmaktadır. IEA verilerine göre dünya karbon salınımının dörtte biri ulaştırmadan kaynaklanmaktadır. Burada bireysel araçlardan başlayarak kamyon vb. bütün araçlar yer almaktadır. Bunun yanında diğer lojistik faaliyetlerde de enerji kullanımı mevcuttur. Bu kullanılan enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan veya bu fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisinden oluşmaktadır (Aydın vd., 2023).

Lojistik faaliyetler kapsamında en fazla çevresel kirliliğe neden olan sektör hala en fazla fosil enerji kullanan taşımacılık sektörüdür. Taşımacılık sektörü ise lojistiğin can damarı olarak söylenebilir. Maliyetler açısından incelediğimizde bunu daha net anlayabiliriz. Lojistik maliyetlerden ele alınan kriterlere göre değişse de genel olarak birim maliyete (yaklaşık %70 civarı) en fazla etki eden taşımacılık maliyetleridir. Bunun büyük çoğunluğu enerji maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Taşımacılıkta enerji maliyetleri sadece bir noktadan başka bir noktaya taşımacılık yapan taşıtlarda değil aynı zamanda elleçleme taşıtlarında kullanılan enerji maliyetlerini de kapsamaktadır. Taşımacılık modlarından denizyolu taşımacılığı maliyet olarak en düşük maliyete sahip taşıma modlarından olsa da yük taşımacılık miktarı yüksek olduğu ve küresel ticaretin can damarı olduğu için toplamda en fazla enerji tüketimine sahip modudur. Havayolu taşımacılığı yüksek enerji kullanımı ve düşük hacme sahip olması

nedeniyle bu konuda en dezavantajlı taşıma modudur. Fakat dezavantajlarından dolayı yük taşımacılığında çok fazla tercih edilmediğinden sefer sayısı ve ticaret hacmi düşüktür. Bu sebeple havayolu yük taşımacılığında kullanılan toplam enerji miktarı diğer taşıma modlarından daha az gerçekleşmektedir. Karayolu taşımacılığına bakıldığında kullanılan araçların büyük çoğunluğu hala fosil yakıtlarla çalışan araçlardan oluşmaktadır. Bu araçlar tam yük kapasite açısından incelendiğinde birim başına tüketilen enerji miktarı açısından havayolundan sonra en yüksek miktara sahip araçlardır. Karayolu taşımacılığının erişilebilirlik ve kapıdan kapıya teslimat açısından yüksek avantaja sahip olması ve terminal vb. gerektirmediğinden diğer taşıma modlarına sıkça tamamlayıcı olarak kullanılması önemini yüksek tutmaktadır. Aynı zamanda diğer taşımacılık modlarının altyapı yetersizliği, araç eksikliği gibi nedenlerle ülke içi yük taşımacılığında en fazla tercih eden taşımacılık türüdür. Bu söylemi AB ülkelerinde ulusal yük taşımacılığının yaklaşık dörtte üçünde karayolu taşımacılığının kullanılması desteklemektedir. Karayolu taşımacılığı araçlarının büyük çoğunluğunun fosil yakıt kullanması, ulusal yük taşımacılığının büyük çoğunluğunun karayolu ile gerçekleştirmesi ve alternatif taşıma modlarının yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda fosil enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu enerji tüketimi ise ciddi karbon salınımına neden olmaktadır (Kennedy, 2004; Banister vd., 2011; Altinok vd., 2024).

Diğer lojistik faaliyetlere bakıldığında fosil enerji tüketimi en yüksek olan depolama ve stok kontrolünü gösterebiliriz. Depoların ısı, ışık, kullanılan cihazlar, elleçleme araçları ve stok kontrolünde kullanılan araç ve donanımlar için kullanılan enerji burada kullanılan enerjinin büyük çoğunluğunu kapsamaktadır. Bu enerjinin bir kısmı fosil yakıtlardan ve çoğunluğu fosil yakıtların yanması sonucu elde edilen enerjilerden sağlanmaktadır. Burada alternatif yakıt üretiminin yetersizliği ön plana çıkmaktadır (Fichtinger vd., 2015; Ries vd., 2017).

Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlara ilişkin önemli bir husus mevcuttur. Lojistik sektöründe kullanılan fosil yakıtlar dışında özellikle elektrik enerjisinin kaynağı olarak da fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Günümüzde her ne kadar alternatif enerjilerden üretilen elektrik enerji miktarı artsa da büyük paydaş yine fosil yakıtlar olarak görülmektedir. Bu fosil yakıtlar öncelikle elektrik enerjisine dönüştürülmekte daha sonra ise lojistik operasyonlarda kullanılmaktadır. Bunun temel sebebi alternatif enerjilerden üretilen elektrik enerjisinin henüz dünya elektrik enerjisi kullanım miktarından çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Khan vd., 2022; Aydın vd., 2023).

Lojistikte kullanılan enerjiden kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmak uluslararası bağlayıcı regülasyonlar tarafından da baskı altındadır. Birçok ülkenin taraf olduğu bu regülasyonlar ülkeleri karbon salınımını azaltma zorunluluğu

getirmektedir. Ülkelerin en fazla dikkat çektiği nokta ilk olarak tüketeceği enerjileri alternatif enerji kaynaklarından sağlamaktır. Bunun için ciddi gelişmeler mevcuttur. Artan yenilenebilir enerji miktarları bunun en önemli göstergesidir. Fakat bu durum imalat sektörü gibi alanlarda daha hızlı ve fazla gerçekleşirken lojistik sektöründe ve taşımacılık özelinde güçlüklerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu yüzden son yıllarda diğer sektörlerde olan gelişim oranı lojistik sektöründe düşük kalmıştır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı artarken ticaret, nüfus artışı gibi sebeplerden dolayı enerji tüketim miktarı da atmaktadır. Ülkelerin ikinci önem verdiği konu bu enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik iyileştirmelerdir. Bu kapsamda birçok ülke enerji verimliliği konusunda çalışmalar gerçekleştirmektedir. Fakat lojistik sektörü dinamik yapısı ve ciddi altyapı gereksinimi nedeniyle bu konuda da yeterli dönüşümü gerçekleştirememektedir (Khan vd., 2022; Kumar ve Sharma, 2024).

Lojistik yeniliklerden tersine lojistik, lojistikte yalınlık, son mil teslimatı gibi boyut veya süreçler işlemlerin hızlandırılması, maliyetin azaltılması, süreç verimliliğinin artırılmasının yanında enerji tüketimini azaltırken enerji verimliliğini artırmaya yönelik yeniliklerdendir. Bu durum lojistikten kaynaklanan çevresel kirliliği en aza indirmeyi hedeflemektedir. Genel olarak lojistik operasyonların yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji kullanılarak gerçekleştirilmesini savunmaktadır. Lojistikte yenilenebilir enerji dönüşümü çevreye verilen zararı azaltmak için en önemli araçtır. Çevreye en az zararı veren güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga ve gelgit enerjisi fosil yakıtların bu hegemonyasını kırabilecek alternatif yakıtlardır. Fakat bu enerji kaynaklarını kullanmak veya üretmek teknoloji odaklı olmadığı sürece tek başına yeterli olmayacaktır. Bu dönüşümün ana noktasında lojistik operasyonlarda teknolojik dönüşüm gerçekleştirerek alternatif yakıtlı araçların, depoların, sistemlerin ve süreçlerin oluşturulmasıdır. Örneğin güneş enerjisinden faydalanan birçok ülke veya işletme vardır. Fakat bu enerjiyi kullanabilen araç sayısı veya bu araçların enerji tedariki sağlayacağı istasyonlar sınırlıdır. Bu teknolojik dönüşüm olmadan fosil yakıt tüketim hegemonyasının kırılması mümkün değildir (Jones vd., 1997; Brito vd., 2004; Demir vd., 2022; Altınok, 2023).

Bu bölümde alternatif yakıtların üretimi, araçlarda kullanımı gibi teknik detaylara girmeden lojistik süreçlerde alternatif enerji kullanımına ilişkin teknolojik dönüşüm ana odak noktası olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda alternatif enerji kaynakları tanıtilerek bu kaynakların lojistik organizasyonlara nasıl entegre edilmiş bu konuda eksiklikler veya zorluklar nelerdir, dünya üzerinden mevcut örnekler ve gelecek projeksiyonu verilecektir. Bölümün

ilerleyen kısımlarında ilk olarak alternatif yakıtların dönüşümünün dinamikleri ele alınacaktır. İkinci olarak alternatif yakıtlar hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında bu enerji dönüşümünde yaşanan zorluklar ve engeller ele alınmıştır. Teknolojik dönüşüm uygulamaları ve örnek uygulamalar ele alındıktan sonra bölüm sonuçlandırılmıştır.

## **LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ DİNAMİKLERİ**

Lojistik sektörü küresel ekonominin can damarı olmasıyla birlikte kullandığı enerji miktarı ve türünden dolayı negatif çevresel etkisi en yüksek sektörlerdendir. Lojistik sektörü operasyonlarında en fazla yenilenemez enerji kaynaklarından fosil kaynaklı enerjiler kullanılmaktadır. Bu yapısından dolayı enerji dönüşüm sürecinde en fazla etkilenecek sektörlerinde başında gelmektedir. Bu dönüşüm lojistik sektöründe negatif çevresel etkiyi azaltmakla birlikte lojistik maliyetleri, süreçleri, stratejileri ve rekabeti de değiştirecektir. Bu değişimleri politika yapıcılar tarafından oluşturulan uluslararası taahhütler, küresel iklim politikaları ve enerji politikaları zorunlu kılmaktadır. Bu düzenlemelerden Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, AB Yeşil Mutabakatı ve Paris İklim Anlaşması en önemlilerindendir (Gelenemann vd., 2020; Tataridas vd., 2022; Keleş, 2023). Bu düzenlemelerden bazılarını lojistik sektöründe enerji dönüşümü kapsamında inceleyelim.

Paris İklim Anlaşmaları küresel iklim politikalarının en başta geleni olarak bilinmektedir. Neredeyse tüm ülkelerin imzaladığı bu anlaşma lojistikte enerji dönüşümünü zorunlu kılan bazı taahhütlere sahiptir. Buna göre ülkeler emisyonlarını azaltma hedefleri belirlerler ve bu hedefler yıllar geçtikçe daha da ağırlaşmaktadır. Net Sıfır Emisyonu bu hedeflerden en önemlisi gibi görülür. Buna göre 2050 yılına kadar sıfır emisyonu ulaşılmasını hedeflemektedir (Salawitch vd., 2017). İkinci bir politika olarak Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemini söyleyebiliriz. Bu sistem ülkelerin Gayri Safi Yurtiçi Hasılatı kapsamında ölçülen toplam emisyonlarına bir üst sınır (ton cinsinden) getirir (Ellerman ve Joskow, 2008). 2050 hedeflerine ulaşmak için ise yıllara göre giderek azaltılır. Kirleten öder prensibine dayanan bu sistem şirketlerin sera gazı salınımı yaptığı miktar kadar ödemesini sağlamaya çalışmaktadır. Bu kapsamda şirketlere belirlenen sınırlar aşıldığında diğer şirketlere tahsis edilen miktarı satın alabilecektir (Narassimhan vd., 2018). Bu sistemde odak nokta fosil yakıt tüketimi sonucu meydana gelen emisyonların azaltılmasıdır. Bir diğer politika Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları kapsamında uygulanmaya çalışılan AB Yeşil Mutabakatıdır. Burada amaç Avrupa birliğini daha yaşanılabilir karbonsuz bir bölge haline getirmektir (Knez vd., 2022).

Uluslararası düzenlemeler ve politikalardan enerji dönüşümü noktasında en fazla etkilenecek olan lojistik faaliyet taşımacılıktır. Taşımacılıkta bu kapsamda farklı önlem, tedbir ve stratejiler belirlenmiştir. Denizyolunda Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme (MARPOL) kapsamında Gemilerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına İlişkin Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) Enerji Verimliliği Mevcut Gemi Endeksi (EEXI) ve yıllık operasyonel karbon yoğunluğu göstergesi (CII) göstergeleri oluşturulmuştur. Burada hedef ilk olarak 2030 yılında 2008 yılına göre en az % 40 oranında nakliye başına düşen karbon salınımını azaltmaktır. Ana hedef ise 2050 yılına yakın sıfır emisyonu sahip taşımacılık gerçekleştirmek (IMO, 2025). Karayolu taşımacılığında fosil yakıt tüketimini azaltmak için emisyon ticaret sisteminde özel bir bölüm yer almaktadır. Aynı şekilde diğer taşımacılık modları içinde enerji dönüşümü için farklı politika ve hedefler mevcuttur.

Bütün çevre ile ilgili uluslararası politikalar incelendiğinde hedefe ulaşmak için fosil yakıt tüketiminin yıllara göre azaltılması ve enerji dönüşümü zorunluluğunu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla en fazla fosil yakıt tüketen sektörlerden olan lojistik sektöründe de enerji dönüşümü kaçınılmaz hale gelmektedir.

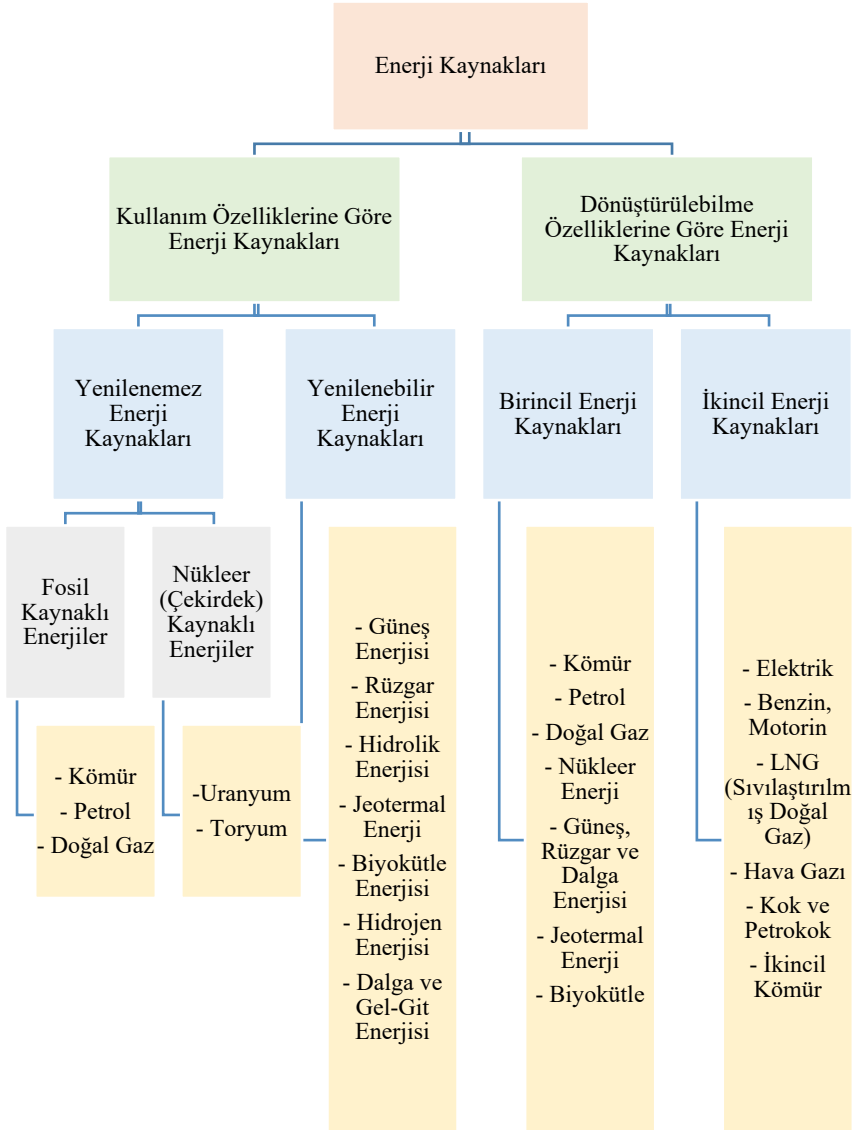
## **ALTERNATİF YAKIT TÜRLERİ**

Yenilenemez enerji kaynaklarının çevreye verdiği ağır hasardan kurtulmak için politika yapıcılar önemli bir uğraş içindedir. Bunu gerçekleştirmenin kaçınılmaz yolu alternatif yakıtlara geçiştir. Burada bahsedilen alternatif yakıtlar Şekil 1’de belirtilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar çevreye en az zararı vererek enerji üretmektedir.

Güneş enerjisi yıllık dünyada kullanılan toplam enerji miktarının 28000 katından fazla enerji sağlayan bütün evren için temel enerji kaynağı (ısı ve ışık kaynağı) olmakla birlikte tükenmeyecek enerji kaynaklarındandır. Yüksek enerji kazanım potansiyeli barındıran bu enerji türü genellikle güneş panelleri teknolojisiyle elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve elektrik altyapı sistemine entegre edilmektedir (Kılıç F.Ç., 2015). Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretme sistemlerinin farklı negatif dışsallıkları bilimsel çalışmalara konu olsa da emisyon miktarı sıfır olarak kabul edilmektedir.

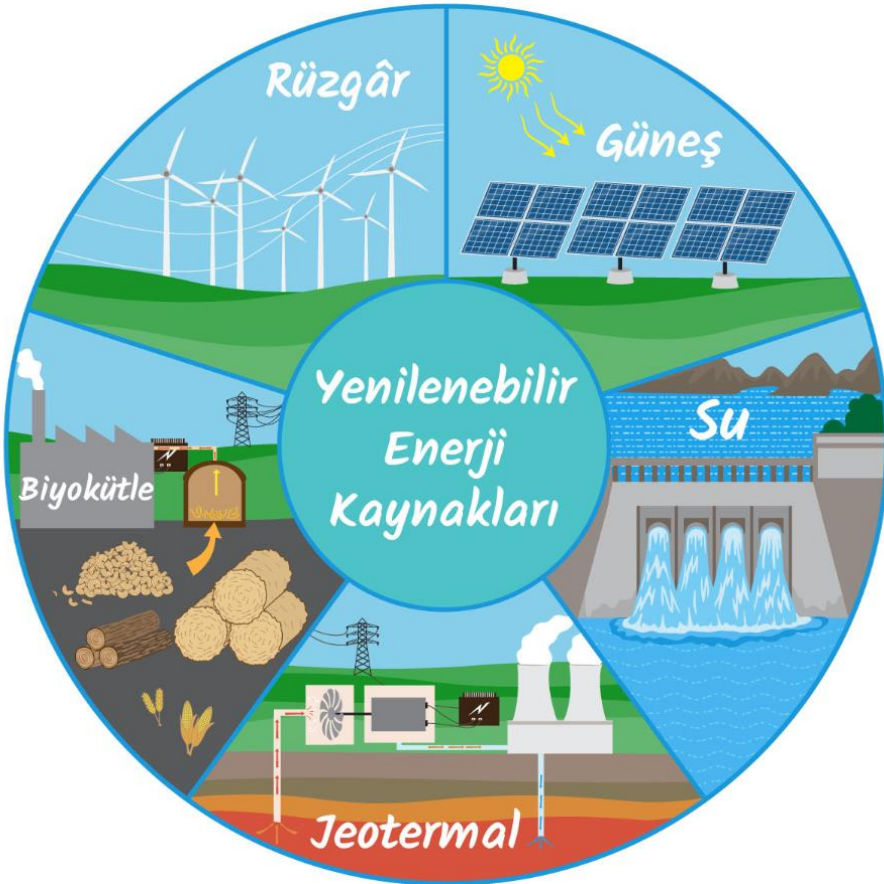
Rüzgâr enerjisinin alternatif enerji olarak kullanılması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Çok eski tarihlerden kalan yel değirmeni ve yelkenli gemi örnekleri bunu desteklemektedir. Günümüzde bu enerjiden daha fazla yararlanmak için rüzgâr tribünleri kullanılmaktadır. Bu rüzgâr tribünlerinin dönmesi türbin rotorunu döndürür ve sonuç olarak mekanik enerji elektrik

enerjisine dönüştürülür. Bu enerji daha sonra elektrik hatlarına verilir ve kullanıma açılır. Günümüzde verimliliği yüksek rüzgâr tribünleri ve rüzgâr potansiyeli yüksek alanlar mevcuttur. Rüzgâr enerji sistemlerinde de güneş enerji sistemlerinde olduğu gibi bazı negatif dışsallıklara sahip olduğuna ilişkin bilimsel çalışmalara sahiptir. Ancak aynı şekilde sıfır emisyonu sahip enerji türü olarak kabul edilmektedir (Şenel ve Koç., 2015).



**Şekil 1.** Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması  
**Kaynak:** Yurtkuran, 2021

Jeotermal enerji yeraltında bulunan ve Dünya merkezindeki ısının etkisi ile ısınan suların yeryüzüne çıkarılarak ısınma ve elektriğe dönüştürülmesi şeklinde kullanılır. Buradan elde edilen sıcak su ve buharı tribünleri döndürür ve bu mekanik enerji ise elektrik enerjisine dönüştürülür. Sonrasında ise elektrik altyapısına entegre edilerek kullanıma sunulur. Isınmada ise sıcak su veya su buharları borular yardımıyla yerleşim yerlerine veya işletmelere ulaştırılarak burada gerekli şekilde kullanılır. Jeotermal enerjide çeşitli dışsallıklara sahip olsa da karbon nötr bir enerjidir. Sadece sıcak suyun yer altından çıkarılması ve taşınması sırasında sondaj makineleri, pompalar vb. kullanıldığı durumda karbon salınımı gerçekleştirilebilir. Fakat fosil yakıtlara göre çok minimal düzeyde görülür (White, 1966; Barbier, 2002; Dickson ve Fanelli, 2018).



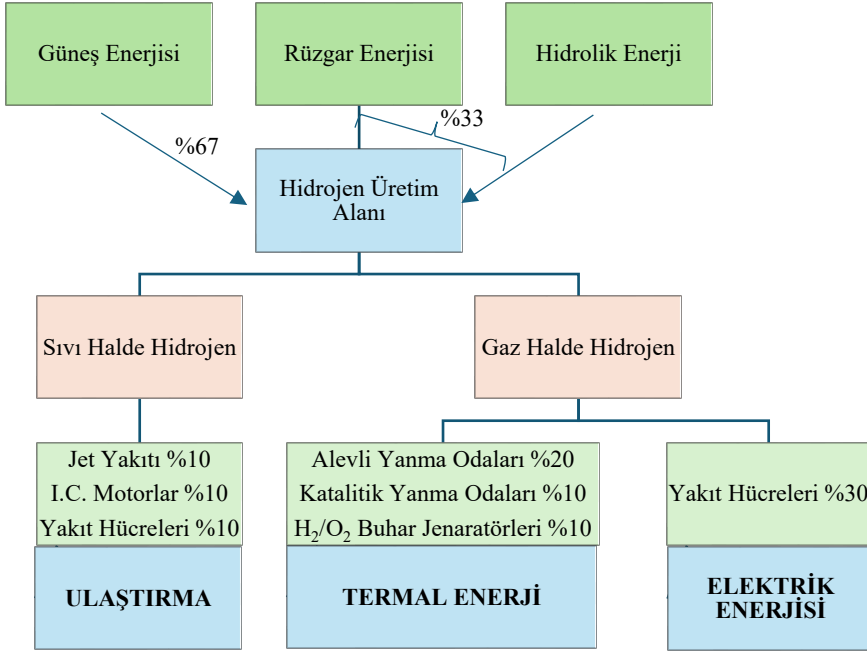
**Şekil 2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

**Kaynak: TÜBİTAK, (2018)**

Biyokütle enerjisi bitkilerin fotosentez yapması sonucu kimyasal enerji depolaması ve sonrasında çeşitli şekilde bunun kullanılmasıdır. Bu enerjiyi elde etmede bitkilerin yanında organik çöpler, hayvan dışkıları, sanayi atıkları gibi atıklarda kullanılır. Biyokütle enerjisi kaynağına göre enerjiye dönüşüm süreci değişiklik gösterirken çevreye iki şekilde fayda sağlar. Birinci durumda atıkların toplanmasını sağlayarak çöp depolarının oluşmasını engellemesidir. İkincisi ise bu atıklardan veya organik bileşenlerden enerji üreterek fosil yakıta alternatif olmasıdır. Enerjiye dönüşüm süreçlerinin bazılarında karbon salınımı gerçekleşse de yenilenebilir enerji olarak kabul edilmesinin sebebi hammaddesinin güneş, su ve toprak yardımıyla yetişen bitkiler olması ve düşük karbon salınımından kaynaklanmaktadır. Hidrojen enerjisine benzer şekilde araçlarda biyoyakıt olarak kullanılabilir (Chum vd., 2012; Bayraç ve Özarslan., 2018).

Hidrolik enerjisi suyun akışını kullanarak elektrik enerjisi elde etme yöntemidir. Nehir, akarsu, dere gibi oluşumların akan suyunu doğrudan veya önene set çekerek oluşturulan göllerden yararlanılır. Bu sistemin günümüzdeki çalışma prensibi setler yardımıyla suyun toplanarak yükselmesiyle başlar ve belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra aşağıya doğru kendiliğinden akan suyun oluşturduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülerek sisteme dahil edilmesiyle sonuçlanır. Hidroelektrik santrallerinin çevreye herhangi bir karbon salınımı olmadığına bilinmesiyle birlikte oluşturulan göllerin çevre iklimini değiştirmesi, yerleşim yerlerinin sular altında kalması, ekolojik dengenin bozulması gibi negatif dışsallıklar da tartışılmaktadır. Birçok ülke emisjonsuz bu alternatif enerjiden faydalanmak için devasa barajlar ve hidroelektrik santraller oluşturmaktadır. Bu enerji türünün kullanım miktarı giderek artmaktadır. Örneğin ülkemizde bu alanda yapılan projeler kendi döneminin en çok vurgu yapılan projeleri olarak kabul edilir ve ülkede kullanılan enerjinin %25'ine yakını bu enerji türünden elde edilir (Dinçer vd., 2017).

Hidrojen enerjisi birçok bilimsel çalışmada 21. Yüzyılın enerjisi olarak fosil yakıtların yerini alacak enerji olarak adlandırılmaktadır (Tutar ve Eren, 2011). Şekil 3'te görüldüğü gibi hidrojen elde etmenin birçok yolu vardır (Veziroğlu ve Noyan, 2003). Buna ek olarak nükleer veya fosil yakıtlardan dahi hidrojen üretilir. Yenilenebilir hidrojen su elektrolizi yoluyla çok düşük karbon ayak izine sahip ( $<1$ ,  $\text{kgCO}_2/\text{kgH}_2$ ) yeşil hidrojen üretimi olarak bilinir. Suyun dışında nükleer veya fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen daha fazla karbon ayak izine sahiptir. Bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanıldığı gibi ulaşım araçlarında yakıt olarak da kullanılabilen nadir yenilenebilir enerji kaynaklarından. Bu özelliğinden dolayı özellikle ulaşım hedef alternatif yakıt olarak görülmektedir (Momirlan ve Veziroğlu, 2002; Edwards vd., 2007; Tunçbilek, 2024).



**Şekil 3. Yeşil Hidrojen Enerji Sistemi**

**Kaynak:** Veziroğlu ve Noyan (2003)

Dalga ve Gel-git enerjisi çeşitli nedenlerle deniz veya okyanuslarda oluşan dalgalardan veya bu deniz ve okyanuslardan ayrılan göletlerden suyun akış yönünün değişmesinden yararlanılarak elde edilen enerjiye denir. Dalga enerjisi genellikle salınlı sistemler kurularak bu sistemlerin hareketleri sonucu tribünlerin dönmesi ile mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi olarak bilinir. Gel-git enerjisi ise Güneş ve Ay'ın hareketleri ve yer çekimi dolayısıyla deniz sularının sürekli yön değiştirdiği bilinmektedir. Bu yön değişikliğinden faydalanmak için gel-git bölgelerine su türbinleri eklenir. Gel-git bölgelerine giren ve çıkan bu akımlar bu tribünler sayesinde elektrik enerjisi üretir. Dünya döndükçe, güneş ve ay oldukça dalga ve gel-git enerjisinin bitmeyeceği düşünülmektedir. Karbon ayak izi çok düşük olduğundan ve dünyanın 4'te 3'ü su olduğundan alternatif yenilebilir bir enerji kaynağı olarak görülür (Uygur vd., 2006; Kaymaz vd., 2024).

Alternatif yakıt olarak yenilenebilir enerjilerin yanında ikincil enerji kaynaklarından LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) de kullanılmaktadır. Fosil yakıt olmasına rağmen alternatif olmasının sebebi emisyon miktarının dizel, benzin

gibi yakıtlara oranla yaklaşık %20-25 oranında daha az olmasıdır (Lutz, 1981; Blagin vd., 2016).

Sonuç olarak bakıldığında lojistikte fosil yakıtlara alternatif olabilecek birçok enerji türü vardır. Bunlardan en dikkat çekici olanı halihazırda ulaştırma araçlarında kullanılmaya başlanan ve yakıt olarak kullanılabilen hidrojen enerjisidir. Elbette diğer enerji türleri de elektrik enerjisine dönüşmesi yoluyla bu sektörde kullanılabilir. Bu teknolojiler halihazırda var olması ve az da kullanılıyor olsa da tek başına varlığı çevre kirliliğini azaltmaya yetmeyecektir. Burada yakıtların dönüşümü gerçekleşmiş fakat teknolojinin uygulama dönüşümünün gerçekleşmesi gerekmektedir. Örneğin hidrojen yakıtı ve bu yakıtı kullanabilen araç mevcuttur. Fakat hem hidrojen yakıt istasyonları veya bataryaları hem de araçlar yaygın değildir. Kısacası lojistik sektöründeki bu enerji dönüşümünün gerçekleşmemesinde önemli teknolojik zorluklar ve engeller söz konusudur.

## **LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ALTERNATİF YAKIT KULLANIMINDA ZORLUKLAR VE ENGELLER**

Dünyada kullanılan enerji türleri çevreye daha az zarar veren enerji türleri ile ciddi bir değişim içerisinde. Bu değişimin teknik altyapısı oluşmuş olsa da altyapıyı kullanacak ve entegre sağlayabilecek teknolojilerin varlığı ve sıklığı hala sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradaki en önemli zorluk teknolojik altyapının kurulması ve entegre edilmesi maliyetinin yüksek olmasıdır. Alternatif enerjiden elektrik üreterek dünyadaki gelişmiş elektrik ağına bunu entegre etmek enerji dönüşümünün en basit halidir. Fakat lojistik sektörünün en önemli ve en fazla fosil yakıt kullanımına sahip faaliyeti olan taşımacılıkta hala bu enerjiyi kullanabilecek altyapı ve değişim gerçekleşmemiştir. Elektrikle çalışabilen araç teknolojisi mevcut olmasına rağmen hala bu teknolojiye adaptasyon problemleri yaşanmaktadır. Var olan araçların fiyatının yüksek olması, şarj istasyonlarının yetersizliği, ülkeler arasındaki farklı şarj cihazları, bataryalardaki belirsizlikler enerji depolarının büyük olması gibi sorunlar bu adaptasyonu güçleştirmektedir. Elektrik enerjisine en erken şekilde entegre olan taşımacılık modu demiryolu taşımacılığı olsa dahi hala elektrifikasyon maliyetlerinin ve elektrikli lokomotif geçiş maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı dizel lokomotifler sıkça kullanılmaktadır. Karayolunda yolcu taşımacılığında aynı şekilde elektrikli araçlar yıllardır var olmasına rağmen hala tam geçiş yaşanmamıştır. Yük taşımacılığında elektrikli araçlara geçiş biraz daha zor olmaktadır. Yük taşımacılığında çok daha yüksek güce ihtiyaç duyulduğundan daha yüksek batarya büyüklüğüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bataryaların maliyetleri genellikle yüksektir. Bunun yanında daha yüksek güç ve büyük batarya daha sık

veya uzun şarj süresi ihtiyacı duymaktadır. Bu sebeplerden dolayı elektrikli yük taşıma araçları henüz yaygınlaşmamıştır. Araçların kullanımının yaygınlaşması şarj istasyonları erişilebilirliği artırılmalı ve hızlı şarj teknolojisi, daha yüksek kapasiteli ve daha küçük yapıya sahip batarya teknolojisi geliştirilmelidir (Rentizelas vd., 2009; Ariff vd., 2022; Neagoe, 2024).

Elektrik enerjisinin yanında yakıt olarak kullanılabilen diğer alternatif yakıtlarda da durum farksızdır. Geleceğin enerjisi olarak adlandırılan hidrojen yakıtının erişilebilirliği, üretim kapasitesi, depolanma teknolojisi henüz yeterli değildir. Yeterli olsa dahi değişim çok uzun yıllar alacaktır. Örnek vermek gerekirse denizyolu taşıtları maliyeti çok yüksek araçlardır. Ortalama kullanım ömürleri ise 20-30 yılı bulmaktadır. Eskiyen filoların alternatif yakıtlı araçlarla değişimi çok yüksek maliyete sahip olacaktır. Bunun yanında daha genç araçlara alternatif yakıt entegrasyonu da yüksek maliyet gerektirmektedir. Ayrıca depolama sistemleri de henüz gelişmiş değildir (Rigo vd., 2020; Khan vd., 2022; Neagoe, 2024).

Ülkeler arasındaki standartsızlık başka bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Alternatif enerji kullanımının yaygınlaşması için benzer altyapının bütün ülkelerde ve işletmelerde bulunması gerekmektedir. Giderek artan uluslararası ticaret lojistik hizmetlerin artışına da yardımcı olmaktadır. Bu artış daha fazla uluslararası taşımacılık anlamına geldiği için ülkeler arasında standardizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu standartlardan bahsedecek olursak; şarj veya yakıt istasyonlarının bulunabilirliği, aynı şarj sistemine sahip olma, benzer yakıt fiyatlandırması söylenebilir. Bu belirsizlikler işletmelerin alternatif yakıt teknolojilerine adaptasyon sürecini olumsuz etkilemektedir (Ravotti, 2017; Kumar ve Sen, 2021).

Alternatif yakıt kullanımında bir diğer zorluk ve engel risk belirsizliğidir. Bu enerjilerin depolanması hala risk taşımaktadır. Yüksek voltajlı bataryaların yangın, yüksek basınçlı hidrojenin güvenlik gibi riskleri 7/24 çalışan bir sektörün en fazla dikkat ettiği belirsizliğin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu teknolojiler fosil yakıt teknolojisine göre daha kompleks bir yapıya sahip ve daha yeni olduğu için belirsizlik daha fazladır. Bir diğer zorluk ve engel olarak negatif çevresel dışsallıkların belirsizliğini de söyleyebiliriz. Bu teknolojiler daha yeni olduğu için çevreye tam olarak zarar verip vermediği netlik kazanmamıştır. Örneğin güneş enerji panelleri emekleme aşamasında tam çevreci bir teknoloji olarak lanse edilirken şimdilerde ışığı yansıtması sonucu çevresinin sıcaklık ortalamalarını değiştirdiği konuşulmaktadır. Diğer örnekler olarak rüzgâr tribünlerinin ses ve titreşim yaparak hayvanlara zarar vermesi, hidroelektrik enerji için kurulan barajların çevresinin iklimini değiştirmesi, batarya teknolojisi için kritik minerallerin (lityum, kobalt, nikel ve nadir toprak elementleri) gerekliliği

verilebilir. Genel olarak ilk dikkat edilen nokta fosil yakıtların çevreye en fazla verdiği zarar olan karbon salınımını azaltması olarak bakıldığından bu teknolojiler zararsız görünse de hala belirsizlik ve risk devam etmektedir (Asheibe, 2013; Kumar ve Sen, 2021).

## **TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM VE YENİLİKÇİ UYGULAMALAR**

Lojistikte alternatif yakıtlara dönüşüm sadece bu teknolojiyi ortaya çıkarmak ve gerekli altyapıyı kurmakla sağlanamaz. Bunun yanında diğer teknolojilerle de uyum içinde çalışılması ve geliştirilmesi gerekir. Sistemlerin daha verimli kullanılması burada en önemli dönüşüm yardımcısıdır. Verimliliği artırıcı uygulamalar lojistiğe sürekli entegre edilmelidir. Örneğin batarya teknolojisi kullanılmaktadır. Fakat daha önce de belirttiğimiz zorluklar ve engeller vardır. Bunları aşabilmek için yapay zekâ, makine öğrenmesi ve nesnelerin interneti gibi sistemler bu teknolojilere entegre edilmelidir. Bu sistemler sayesinde batarya teknolojisinin en önemli sorunu olan yüksek hacim ve ağırlık azaltılması gerçekleştirilemez ama bu enerjinin verimli ve güvenilir kullanılması sağlanabilir. Örneğin yapay zekâ sayesinde bataryaların ısı dereceleri ölçülerek daha az yangın çıkması sağlanabilir. Aynı şekilde hidrojen bataryaları da izlenerek daha güvenli hale getirilebilir.

Rota optimizasyonu gerçekleştirilerek şarj dolum zamanlarının yasal mola sürelerine denk getirilerek zamandan tasarruf, daha az eğime ve daha az klima ihtiyacına sahip olan yollar seçilerek yakıt tasarrufu sağlanılabilir. Bunun yanında nesnelerin interneti yoluyla veriler elde edilerek istasyonların müsaitlik durumu, istasyonlarda trafik yoğunluğu, ortalama şarj süreleri gibi veriler incelenerek en uygun istasyon seçilebilir. Ayrıca filolarda bu araçlar enerji santrali gibi de kullanılabilir. Enerjinin yoğun üretildiği saatlerde depolama gerçekleştirilirken yoğun kullanıldığı saatlerde enerji deposu olarak kullanılabilir. Örnek verecek olursak enerjisini güneş enerjisinden sağlayan bir taşımacılık işletmesi düşünelim. Onlarca elektrikli araca sahip bir filosu bulunsun. Bu filoda her araç her zaman çalışmaz bazı zamanlarda beklemek zorunda kalır. Uzun süre beklemelerde bu araçlar gündüz enerjiyi bataryalarına depolarken gece bu depoladığı enerjiyi sisteme yeniden aktararak işletmenin güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmasını sağlayabilir. Hatta günümüzde bilimsel anlamda çalışmaların giderek arttığı insani yardım lojistiğinde de fayda sağlar. Olası bir afet durumunda elektrikli çeşitli sebeplerle kesilebilir. Burada da bu araçlar kullanarak yardımcı olabilirler.

## SEKTÖREL UYGULAMA ÖRNEKLERİ

**Amazon:** Şirket 2019 yılında 2040 yılına kadar net sıfır karbon hedefli İklim Taahhüdü oluşturdu. 2030 yılına kadar 100000 elektrikli teslimat aracı hedefleyen şirket araçların hepsini yapay zekâ, entegre filo yönetimi ve kendine has teknolojileriyle yükün her zaman izlenmesi, güvenliğin artırılması gibi avantaj sağlayan sistemler haline getirdi. Ayrıca rota optimizasyonunu, şarj ihtiyaçlarını ve mevcut istasyonları dikkate alarak gerçekleştirmektedir(Amazon, 2025; Amazon, 2025b).



**Şekil 4.** Amazon elektrikli teslimat araçları

**Kaynak:** Amazon (2025).

Şirket lojistik sektöründe karbon salınımını azaltmak için 1 milyar euro dan fazla yatırım yapmayı hedeflediğini de belirtmektedir. Bu yatırımlardan biri de hidrojen yakıtlı forkliftlerdir. Depolarında kullandığı forkliftleri hidrojen yakıt hücreleriyle donatarak karbon salınımını azaltırken şarj süreleri gibi zaman alan işlemleri en aza indirmeyi hedeflemiştir. Yeşil hidrojenle çalışan 30000 forklift ve 800 kamyonu ulaşmak için çabalamaktadır. Ayrıca kendi hidrojenini üretip depolayan işletmelerdendir (Amazon, 2025; Amazon, 2025b).



**Şekil 5.** Amazon hidrojen yakıtlı forkliftler  
**Kaynak:** Recharge (2025).

**Port of Los Angeles / Port of Shanghai:** Los Angeles limanı hidrojen yakıtla çalışan liman araçları konusunda son yıllarda ciddi atılımlar gerçekleştirmiştir. Limanda hem çekicilerin bir kısmı hem de vinçlerin bir kısmı hidrojen yakıtıyla çalışmaktadır (Forbes, 2024; LA, 2025). Çin'in Shanghai limanı da otomasyon anlamında en yüksek orana sahip liman olarak adlandırılmaktadır. Limanda elektrik enerjisiyle çalışan liman traktörlerinin tamamı insansız otomasyona sahiptir. Bu sayede çevreye verilen zarar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.



**Şekil 6.** Alternatif yakıtlı araçlar  
**Kaynak:** LA (2025), Huawei (2025)

**Hyundai XCIENT:** Hyundai tarafından geliştirilen hidrojen yakıt hücresel elektrikli kamyon 31 kg/H<sub>2</sub> depo kapasitesiyle 400 km yol alabilmektedir. Bu sayede karbon salınımı sıfırlamayı hedefleyen işletme Avrupa'da 200 araçla 15 milyon kilometreden fazla yol kat etti. Yüksek yakıt verimliliği ve hızlı yakıt ikmalini ön plana çıkaran bu araç gelecekte taşımacılıkta daha fazla kullanılacaktır (Hyundai, 2025).



**Şekil 7.** Hyundai Hidrojen yakıt hücreli kamyon

**Kaynak:** Hyundai (2025)

**Maersk ve CMA CGM:** İki dev denizyolu taşımacılığı şirketi çevreye daha az zarar veren enerjilere yatırım yaparak yeni inşa ettirdiği birçok gemisini biyoyakıtlara uygun  rettirmiştir. Maersk gemilerinde yeşil metanol kullanabileceği çift yakıtlı motor kullanırken CMA CGM Biyoyakıtlara hızlı bir şekilde entegre olabilecek LNG yakıtlı motorlar kullandı (Mearsk, 2025; CMACGM, 2025).



**Şekil 8.** Maersk ve CMA CGM şirketlerinin alternatif yakıtlı gemileri

**Kaynak:** Maersk (2025), CMACGM (2025)

**DHL Ekspres:** Birim başına enerji tüketim miktarı en yüksek taşıma modu havayolu taşımacılığıdır. Şirket bu tüketimden kaynaklanan karbon emisyonlarını azaltmak için Neste şirketiyle Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı iş birliği yapmıştır. Bu i  birliği sayesinde atık yağlar, katı atıklar vb. 'den elde edilen yenilenebilir dizel (HVO100) yakıtlar hava yolu taşımacılığının sürdürülebilirliği için kullanılacaktır (Neste, 2025).

## SONUÇ

Lojistikte enerji dönüşümü uluslararası düzenlemeler yoluyla sürekli artan baskı altındadır. Fakat bu değişimin gerçekleşmesinin önünde çeşitli engeller ve zorluklar mevcuttur. Özellikle değişimin altyapı ve entegrasyon maliyetinin yüksek olması ve belirsizliklerin oluşturduğu risk potansiyeli ön plana çıkmaktadır. Bu noktada lojistikte enerji dönüşümü için alternatif yakıtın türü değil kullanımını sağlayan teknolojinin varlığı, maliyeti ve entegrasyonu önem kazanmaktadır. Bunu desteklemek ve belirsizlikleri ortadan kaldırmak için yapay zekâ, nesnelerin interneti, makine öğrenmesi gibi teknolojilerle entegre bir şekilde çalışmak gerekmektedir.

Lojistik faaliyetlerden özellikle taşıma da yakıt olarak kullanılabilen yenilenebilir enerji türü sınırlıdır. Fakat elektrik bataryalarında yaşanacak gelişmeler ve iyileştirmelerle bu sorununda çözümünün gelecekte sağlanması beklenmektedir. Bu konuda bir diğer husus enerji verimliliğini artırıcı faaliyetler gerçekleştirmektir. Lojistikte bilişim sistemlerinden yararlanarak enerji verimliliğini tespit etmek ve artırmak mümkündür.

Sonuç olarak lojistikte alternatif yakıtlara geçiş zorlu bir süreçtir. Bu sürecin iyileştirilmesi için teknoloji odaklı hareket önemlidir. Bu konuda çeşitli uygulamalar var olmakla birlikte giderek artmaktadır. Gelecekte bu değişimin hızlanacağı ve kolaylaşacağı düşünülmektedir.

## REFERANSLAR

- Altinok, H. (2023). Karbonsuz Lojistik. Merdivenci F, Tekin M., *LOJİSTİĞİN GELECEĞİ -2* içinde (ss. 19-38), İzmir, Duvar Yayınları.
- Altinok, H., Aydin, C., Erturgut, R., & Cetintas, Y. (2024). Does the type of transportation mode matter in the effect of freight transportation on the environmental pollution of OECD countries?. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(49), 59275-59288.
- Ariff, M. M., Kasim, H., Al Ghaili, A., Ibrahim, S. R., Omarbady, G., & Anuar, A. S. A. (2022). Energy efficient logistic: Issues and challenges. *electronic Journal of Computer Science and Information Technology*, 8(1), 22-29.
- Asheibe, A., & Khalil, A. (2013, July). The renewable energy in Libya: Present difficulties and remedies. In *the Proceedings of the World Congress* (pp. 34-44).
- Aydin, C., Aydin, H., & Altinok, H. (2023). Does the level of energy intensity matter in the effect of logistic performance on the environmental pollution of OBOR countries? Evidence from PSTR analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(7), 1494-1512.
- Banister, D., Anderton, K., Bonilla, D., Givoni, M., & Schwanen, T. (2011). Transportation and the environment. *Annual review of environment and resources*, 36(1), 247-270.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 3-65.
- Blagin, E. V., Uglanov, D. A., & Dovgyallo, A. I. (2016). About LNG energy utilization efficiency estimation. *Procedia Engineering*, 152, 209-218.
- Chum, H., Faaj, A., Moreira, J., Berndes, G., Parveen, D., Dong, H., ... & Ribeiro, S. K. (2012). Bioenergy. *Renewable energy sources and climate change mitigation*, 209-332.
- De Brito, M. P., & Dekker, R. (2004). A framework for reverse logistics. In *Reverse logistics: Quantitative models for closed-loop supply chains* (pp. 3-27). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Demir, E., Syntetos, A., & Van Woensel, T. (2022). Last mile logistics: Research trends and needs. *IMA Journal of Management Mathematics*, 33(4), 549-561.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2018). What is geothermal energy?. In *Renewable Energy* (pp. Vol1\_302-Vol1\_328). Routledge.
- Dinçer, F., Atik, İ., Yılmaz, Ş., & Çıngı, A. (2017). Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 555-561.

- Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., & David, W. I. (2007). Hydrogen energy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1853), 1043-1056.
- Ellerman, A. D., & Joskow, P. L. (2008). *The European Union's emissions trading system in perspective* (pp. 12-64). Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change.
- Fichtinger, J., Ries, J. M., Grosse, E. H., & Baker, P. (2015). Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. *International Journal of Production Economics*, 170, 717-729.
- Glanemann, N., Willner, S. N., & Levermann, A. (2020). Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test. *Nature communications*, 11(1), 110.
- Jones, D. T., Hines, P., & Rich, N. (1997). Lean logistics. *International Journal of physical distribution & logistics management*, 27(3/4), 153-173.
- Katrakylidis, I., & Madas, M. (2019). International Trade and Logistics: An Empirical Panel Investigation of the Dynamic Linkages between the Logistics and Trade and their Contribution to Economic Growth. *International Journal of Economics & Business Administration (IJEBA)*, 7(4), 3-21.
- Kaymaz, S., Bayraktar, T., & Sel, Ç. (2024). Su Dalga Enerjisi Üretimi ve Yapay Zekâ: Asya, Avrupa ve Türkiye'nin Potansiyeli. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 798-822.
- Keleş, D. (2023). Birleşmiş Milletler (BM) sürdürülebilir kalkınma amaçları çerçevesinde Türkiye'de sürdürülebilirlik raporlaması: BİST'e kote edilmiş bazı holding işletmeleri üzerine bir araştırma. *İşletme Akademisi Dergisi*, 4(3), 257-270.
- Kennedy, L. G. (2004). Transportation and environmental justice. In *Running on empty* (pp. 155-180). Policy Press.
- Khan, S. A. R., Yu, Z., Umar, M., Zia-ul-haq, H. M., Tanveer, M., & Janjua, L. R. (2022). Renewable energy and advanced logistical infrastructure: Carbon-free economic development. *Sustainable Development*, 30(4), 693-702.
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Knez, S., Štrbac, S., & Podbregar, I. (2022). Climate change in the Western Balkans and EU Green Deal: status, mitigation and challenges. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1), 1-14.
- Kumar Nath, U., & Sen, R. (2021). A comparative review on renewable energy application, difficulties and future prospect. *2021 Innovations in Energy Management and Renewable Resources (52042)*, 1-5.
- Kumar, M., & Sharma, S. (2024). Renewable energy and sustainable transportation. In *Role of Science and Technology for Sustainable Future: Volume 1:*

- Sustainable Development: A Primary Goal* (pp. 375-414). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Loucanova, E., Kaputa, V., Nosalova, M., & Olsiakova, M. (2024). The logistics and sustainability in the European Union. *International scientific journal about logistics*, 11(2), 317-323.
- Lutz, R. E. (1981). Energy, Environment and LNG: Perceptions and Perspectives of Kaleidoscopic Issues. *Pepp. L. Rev.*, 9, 11.
- Momirlan, M., & Veziroglu, T. N. (2002). Current status of hydrogen energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 141-179.
- Narassimhan, E., Gallagher, K. S., Koester, S., & Alejo, J. R. (2018). Carbon pricing in practice: A review of existing emissions trading systems. *Climate Policy*, 18(8), 967-991.
- Neagoe, M., Hvolby, H. H., Turner, P., Steger-Jensen, K., & Svensson, C. (2024). Road logistics decarbonization challenges. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139979.
- Ravotti, N. M. (2017). Access to energy in Indian country: the difficulties of self-determination in renewable energy development. *American Indian Law Review*, 41(2), 279-318.
- Rentizelas, A. A., Tolis, A. J., & Tatsiopoulou, I. P. (2009). Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(4), 887-894.
- Ries, J. M., Grosse, E. H., & Fichtinger, J. (2017). Environmental impact of warehousing: a scenario analysis for the United States. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6485-6499.
- Rigo, P. D., Rediske, G., Rosa, C. B., Gastaldo, N. G., Michels, L., Neuenfeldt Junior, A. L., & Siluk, J. C. M. (2020). Renewable energy problems: Exploring the methods to support the decision-making process. *Sustainability*, 12(23), 10195.
- Salawitch, R. J., Canty, T. P., Hope, A. P., Tribett, W. R., & Bennett, B. F. (2017). *Paris climate agreement: Beacon of hope*. Springer Nature.
- Şenel, M. C., & Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu- Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.
- Tataridas, A., Kanatas, P., Chatzigeorgiou, A., Zannopoulos, S., & Travlos, I. (2022). Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide. *Agronomy*, 12(3), 589.
- Tunçbilek, Ö. F. (2024). Hidrojen Enerjisi ve Çevresel Etkileri Üzerine Değerlendirmeler. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 189-197.

- Tutar, F., & Eren, M. (2011). Geleceğin enerjisi: Hidrojen ekonomisi ve Türkiye. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (6).
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A., & Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 7-13.
- Veziroğlu, N., & Noyan, F. (2003). 21. Yüzyılın Enerjisi: Hidrojen Enerji Sistemi. *MMO Tesisat Mühendisliği (Mayıs-Haziran 2003)*, 33, 44.
- Villani, E., & Greco, L. (2018). The dark side of outsourcing: the case of logistics. *Positive and Negative Aspects of Outsourcing*, 107.
- White, D. E. (1966). Geothermal energy. *Bulletin Volcanologique*, 29(1), 481-483.
- Yurtkuran, S. (2021). Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Lojistik Arasındaki İlişki: Türkiye Örneği. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31(3), 1245-1260.

### İnternet Kaynakları

- Amazon, (2025). <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/everything-you-need-to-know-about-amazons-electric-delivery-vans-from-rivian> erişim tarihi: 25.10.2025.
- Amazon, (2025b). <https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/amazon-adopts-green-hydrogen-to-help-decarbonize-its-operations> erişim tarihi: 25.10.2025.
- CMACGM, (2025). <https://www.cmacgm-group.com/en/launching-cmacgm-jacques-saade-world's-first-ultra-large-vessel-powered-by-lng> erişim tarihi: 27.10.2025.
- Forbes, (2024). <https://www.forbes.com/sites/davidblekhman/2024/06/11/hydrogen-crane-deployment-at-the-port-of-los-angeles/> erişim tarihi: 25.10.2025.
- Huawei, (2025). <https://e.huawei.com/en/case-studies/global/2018/201807050920> erişim tarihi: 25.10.2025.
- Hyundai, (2025). <https://ecv.hyundai.com/global/en/products/xcient-fuel-cell-truck-fcev> erişim tarihi: 26.10.2025.
- IMO, (2025) <https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx> erişim tarihi: 06.10.2025.
- LA, (2025). [https://www.portoflosangeles.org/references/2021-news-releases/news\\_060721\\_zanzeff](https://www.portoflosangeles.org/references/2021-news-releases/news_060721_zanzeff) erişim tarihi: 25.10.2025.
- Maersk, (2025). <https://www.maersk.com/news/articles/2023/06/13/maersk-secures-green-methanol> erişim tarihi: 27.10.2025.
- Neste, (2025). <https://www.neste.com/news/neste-and-dhl-group-to-tighten-collaboration-to-reduce-logistics-emissions> erişim tarihi: 27.10.2025.

- Recharge, (2025). <https://www.rechargenews.com/energy-transition/amazon-makes-first-purchase-of-green-hydrogen-as-it-picks-up-pace-on-delivering-net-zero/2-1-1285541> erişim tarihi: 25.10.2025.
- TÜBİTAK, (2018). <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/alternatif-enerji-kaynaklari-ve-turkiye> erişim tarihi: 11.10.2025.

## **4. Bölüm**

# **Lojistik İşletmelerinin Lojistik 4.0 Teknolojilerine Adaptasyon Süreçlerinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma**

**Öğr. Gör. Dr. İbrahim Ethem DAĞDEVİREN<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi Eşme MYO,  
ethem.dagdeviren@usak.edu.tr, ORCID:0000-0003-2317-6407

## Özet

Endüstri 4.0'ın bir uzantısı olarak değerlendirilebilen lojistik 4.0, yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri, otomasyon sistemleri gibi gelişmiş teknolojilerin lojistik faaliyetlere entegrasyonu ile birlikte ortaya çıkmıştır. Dijitalleşmenin her geçen gün daha da arttığı bir dönemde işletmelerin bu teknolojilere adaptasyonu stratejik bir öneme sahip olmuştur. Bu çerçevede çalışmada, lojistik 4.0 teknolojilerden faydalanan işletmelerin mevcut durumlarını ortaya koyarak bu dijital dönüşümün lojistik süreçlerdeki etkilerini değerlendirmek ve Endüstri 4.0 çerçevesinde gelişen teknolojilerin lojistik sektörü üzerindeki dönüşüm süreçlerine odaklanarak konuyla ilgili farklı alanlarda farkındalık oluşturup uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında, İzmir ilinde faaliyet gösteren orta ve büyük ölçekli lojistik işletmelerinden görüşme tekniğiyle 40 adet veri toplanarak analiz edilmiş ve bulgular yorumlanmıştır. Araştırma ile lojistik 4.0'ın Türkiye'deki güncel uygulama düzeyine ışık tutarak sektöre yol gösterici bir bakış açısı kazandırılması hedeflenmektedir. Araştırma bu alanda özgün bir çalışma olup, araştırma bulgularının işletmelere ve araştırmacılara önemli katkılar sağlaması, literatüre de yeni bir bakış açısı sunması beklenmektedir.

Araştırma sonucunda araştırmaya dahil olan işletmelerin iyi düzeyde lojistik 4.0 teknolojilerine hakim oldukları, özellikle Otomatik Depo Sistemlerini ve Nesnelerin İnternetini kullandıkları ve bu teknolojilerin maliyet ve yüksek verimlilik açısından işletmelere katkı sağladığı belirlenmiştir. Teknolojilerin daha fazla kullanılması açısından lojistik 4.0 hakkında farkındalığın artırılması ve devlet teşvikinin sağlanması gerektiği, bu teknolojilerin kullanılması konusunda özellikle teknolojik alt yapıya ihtiyaç duyulduğu ve maliyetleri düşürme konusunda büyük avantajlar sağladığı ulaşılan diğer sonuçlar arasındadır. Bu sonuçlar çerçevesinde lojistik işletmelerinin uzun vadeli rekabet avantajlarını koruyabilmeleri adına dijital teknolojilere yatırım yapmaları ve teknolojilerin sektörde yaygınlaştırılması açısından da devlet teşviklerinin artırılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik, Endüstri 4.0, Lojistik 4.0.

## 1. Giriş

Endüstri 4.0'ın bir parçası olarak lojistik süreçlerin dijital teknolojilerle yeniden şekillendirilmesini ifade eden lojistik 4.0, diğer sektörlerin yanı sıra lojistik sektöründe de büyük değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Bu dönüşümle beraber nesnelerin interneti (IoT), blockchain, yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim, robot teknolojileri ve otomasyon gibi ileri düzey dijital çözümleri kullanılarak lojistik operasyonlarının daha hızlı, verimli ve esnek bir şekilde yönetilmesi sağlanabilmektedir. Bu dijital dönüşüm, sadece işletme içindeki operasyonları değil, aynı zamanda tedarik zincirinin tüm yapısını yeniden şekillendirerek lojistiği stratejik bir rekabet avantajı olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu yüzden dünya çapında özellikle büyük işletmeler uluslararası pazarda rakipleri ile rekabet edebilmek için tedarik zincirlerini ve lojistik faaliyetlerini anahtar olarak kullanmaya (Li vd., 2006: 107) ve dijital tedarik zinciri ve lojistik yapılarını bu doğrultuda oluşturmaya başlamışlardır (Lin ve Jones, 2009: 589).

İşletmeler açısından stratejik bir öneme sahip olan lojistik 4.0 ile ilgili bu araştırmanın amacında, lojistik 4.0 teknolojilerden faydalanan işletmelerin mevcut durumlarını ortaya koyarak bu dijital dönüşümün lojistik süreçlerdeki etkilerini değerlendirmek ve Endüstri 4.0 çerçevesinde gelişen teknolojilerin lojistik sektörü üzerindeki dönüşüm süreçlerine odaklanarak konuyla ilgili farklı alanlarda farkındalık oluşturup uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlamaktır. Araştırma amacı doğrultusunda araştırma sorusu da “lojistik 4.0 uygulamalarından faydalanan lojistik işletmelerinin bu teknolojilere adaptasyon süreci nasıldır ve bu dijital dönüşümün lojistik süreçlere etkileri nelerdir?” şeklinde belirlenmiştir. Lojistik 4.0'ın etkili bir şekilde uygulanması sadece operasyonel verimlilik açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, müşteri memnuniyeti ve küresel pazarda rekabet gücü kazanma gibi stratejik avantajlar da sağlamaktadır. Bu bağlamda, çalışma işletmelere sürdürülebilirlik, müşteri memnuniyeti ve küresel pazarda rekabet gücü kazanma gibi stratejik avantajlar sunan bir konuda hem akademik literatüre katkı sunulacak hem de lojistik yöneticilerine ve politika yapıcılara pratik öneriler sunulabilecektir. Çalışmada, kavramsal çerçeveye yer verdikten sonra araştırmanın amacı, yöntemi, evreni ile analiz ve bulgularına yer verilmiştir. Son olarak da araştırma bulguları doğrultusunda araştırmanın teori ve pratiğe katkıları, sınırlılıkları ve gelecek çalışmalar için önerileri içeren sonuç bölümü ile araştırma tamamlanmıştır.

## **2.Kavramsal Çerçeve**

### **2.1.Endüstri 4.0 Kavramı**

Buhar makinasının kullanımı ile başlayan Sanayi Devrim’leri birçok alanda büyük değişiklikleri beraberinde getirmiştir. Hannover Fuar’ında 2011 yılında ifade edilmeye başlanan 4. Sanayi Devrimi ile birlikte de bu değişiklikler daha da artarak dijital bir dönüşüm yaşanmıştır. Endüstri 4.0 olarak da ifade edilen 4. Sanayi Devrimi, özellikle nitelik gerektirmeyen alanlarda insan gücünün yerine robotların ve makinaların yer almasını ve nitelikli işlerde ise uzmanlaşmaya dayalı katma değer yaratma sürecini ifade etmektedir (Sener ve Elevli, 2017: 26). “Akıllı İmalat Koalisyonu”, “Geleceğin Endüstri Girişimi”, “Geleceğin Fabrikaları” gibi farklı isimlerle de ifade edilen Endüstri 4.0 da (Öztemel ve Gürsev, 2018: 158) bilgi teknolojileri, sensörler ve makinalar kullanılarak makineler, ekipmanlar ve ürünler birbirleriyle iletişim kurmakta ve böylece akıllı sistemler ortaya çıkmaktadır (Kovacs ve Kot, 2016: 122).

Makinelerin insan gücünün yerine geçerek bilgisayar ve internet teknolojilerindeki yeniliklerle koordineli bir şekilde çalışabilmesi, üretim süreçlerinin kendiliğinden yönetilebilir hale gelmesini mümkün kılmış ve Endüstri 4.0 kavramının doğmasına zemin hazırlamıştır (Bulut ve Akçacı, 2018: 53). Böylece ürünlerin ve üretim sistemlerinin yaşam döngüsünde bireyselleşen müşteri taleplerine daha etkin bir şekilde yanıt vermesi mümkün olmuştur. Fikir aşamasından ürün geliştirme, sipariş, dağıtım ve geri dönüşüm süreçlerini kapsayan tüm zincir daha verimli bir şekilde yönetilebilir hale gelmiştir (Pamuk ve Soysal, 2018: 44).

Dijital dönüşümü esas alan Endüstri 4.0 uygulamaları işletmelerin iş süreçlerinde önemli değişiklikleri de beraberinde getireceğinden dolayı iyi bir planlama sürecini gerektirmektedir (Alipour vd., 2018: 95). Bu yüzden birçok ülkede Endüstri 4.0 kavramının getireceği avantajlardan maksimum düzeyde yararlanabilmek için kapsamlı politikalar ve stratejik kararlar alınmış ve yol haritaları çizilmiştir. Bu girişimler sonucunda küresel ölçekte sanayi dönüşümünün desteklenmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar söz konusudur. Bu yaklaşımlar Endüstri 4.0’ın küresel ekonomideki etkisini artırmayı ve ülkelerin teknolojik ilerlemelerini hızlandırmayı hedefleyen sistematik yaklaşımlar olarak da değerlendirilmektedir (Işık, 2016:19).

### **2.2 Lojistik 4.0 Kavramı**

İşletmelerin rekabet edebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olan Endüstri 4.0 uygulamaları diğer sektörlerin yanı sıra lojistik sektörünü de etkilemiş ve bu alanda hızla kritik bir konuma gelmiştir (Saatçioğlu ve Özispa, 2018: 1684). Neredeyse tüm üretim ve hizmet alanlarıyla

yakın bir ilişkiye sahip olan lojistik sektörü, geçmişten günümüze kadar gerçekleşen tüm Sanayi Devrimleri'nden etkilenmiş ve dolayısıyla meydana gelebilecek değişimlere sektörde hızla uyum sağlama zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Geçmişte lojistik firmalarının başarısında verimlilik, standardizasyon ve düşük maliyet temel unsurken dijitalleşme süreciyle birlikte çeviklik, esneklik, inovasyon, müşteri odaklılık gibi yeni kriterler başarıya ulaşmada belirleyici hale gelmiştir. Bu yüzden geleceğin lojistiği de dijitalleşme, akıllı çözümler ve otomasyon temelli yöntemlerle şekillenmesi beklenmektedir (Yılmaz ve Duman, 2019: 90). Rekabet edebilirlik ve sürdürülebilirlik açısından bütün lojistik işletmelerinin bu yöntemlere uyum sağlaması ve bu konuda daha fazla araştırmanın yapılması da ülkeler ve işletmeler açısından kritik öneme sahiptir (Abriad ve Kristian, 2021). Çünkü günümüzde dijitalleşmeyi göz ardı eden işletmeler rekabet avantajını kaybetme riski taşımaktadırlar. Öte yandan, dijitalleşmeyi bir gelişim fırsatı olarak değerlendiren işletmeler ise mevcut piyasa koşullarında belirgin bir rekabet üstünlüğü elde etme şansını yakalamaktadırlar (Yılmaz ve Duman, 2019: 190).

Dijital Lojistik ya da Akıllı Lojistik gibi kavramlarla da ifade edilen lojistik 4.0 Müller ve Voigt'e (2018) göre "Endüstri 4.0 teknolojilerinin lojistiğe yönelik uygulamaları ve etkileridir". Lojistik 4.0, tedarik zincirindeki üreticiler, üçüncü parti lojistik hizmet sağlayıcılar ve son müşteriler gibi tüm aktörlerin tam entegrasyonunu hedefleyen; yüksek oranda bağlantılı süreçlerin, veri yönetiminin ve sistemlerin bir araya getirilmesini ifade eden bir kavramdır (Schiemann, 2016: 7).

Dijitalleşme ve otomasyon çağını yakalamayı başaran işletmeler, lojistik süreçlerindeki hataları azaltarak ve maliyetleri minimize ederek müşteri memnuniyetini en üst seviyeye çıkarabilir ve böylece rakiplerine karşı güçlü bir avantaj elde edebilirler. Bu doğrultuda Lojistik 4.0'ın işletmelere sunduğu başlıca faydalar arasında şu noktalar ön plana çıkmaktadır (Scherf, 2018):

- Veri kalitesinin artması: Veri toplama ve işleme, ağ sistemlerinde kritik bir işlev olarak öne çıkmaktadır. Sadece ürünlere özgü ana verilerin derlenmesi değil, aynı zamanda ürünler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi de büyük önem taşımaktadır. Dijitalleşme döneminde yüksek veri kalitesi, bir işletmenin diğer işletmeler tarafından cazip bir ortak olarak değerlendirilmesinin ön koşuludur.
- Hammadde ve yardımcı malzemelerin maliyet açısından daha avantajlı koşullarda temin edilmesi: Uluslararası iletişim ağlarına sahip işletmeler, fiyat teklifi talep etme sürecinde daha geniş bir tedarikçi havuzuna erişim olanağına sahiptir. Bu durum, işletmelerin hem küresel ölçekte daha

uygun fiyatlarla ürün tedarik etmelerini hem de faaliyet gösterdikleri pazarlarda pazarlık süreçlerinde daha güçlü bir konum elde etmelerini sağlamaktadır.

- Küresel ölçekte kaynak erişimi: Uluslararası ağlara ulaşım imkanı sayesinde işletmeler yalnızca yerel kaynaklarla sınırlı kalmayarak, dünya genelindeki hammaddelere ve yardımcı malzemelere erişim sağlama fırsatına kavuşmaktadır. Bu imkân, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin de küresel ölçekte tedarik süreçlerine katılımını kolaylaştırmakta ve rekabet avantajı sunmaktadır.
- Yeni satış kanallarına sahip olma: İşletmelerin kurumsal teklifleri, uluslararası ağlar aracılığıyla dünya genelindeki ilgili taraflara erişim imkanı sunmaktadır. Dijital dönüşüm, bu süreçte işletmelerin yeni hedef pazarlar belirlemelerine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra verimlilik ve performansta artış, iş gücünden tasarruf, stok yönetiminin güvenilirliği, hız ve etkinlikte artış, uyarlanabilirlik, kesintisiz ve anlık iletişim imkanları, zorlu çalışma koşullarının hafifletilmesi ve karar alma süreçlerinin iyileştirilmesi de Lojistik 4.0'ın işletmelere sunduğu başlıca avantajlar arasında yer almaktadır. Lojistik 4.0, bir devrim olmaktan ziyade lojistik operasyonlarını yenilikçi bir şekilde geliştirmek amacıyla hareket eden lojistik evriminin bir aşamasını temsil etmektedir (Yılmaz ve Duman, 2019: 192).Ancak, lojistik sektöründe Endüstri 4.0'ın etkilerini daha iyi anlayabilmek için önceki sanayi devrimlerini doğru bir şekilde analiz etmek gerekmektedir.

### **3. Araştırma Amacı**

Sınır ötesi ticarete yaşanan artışla beraber çok uluslu işletmeler oluşmaya başlamış ve rekabet artarak süreç karmaşıklaşmaya başlamıştır (Wiengarten vd., 2014: 51). Bu karmaşıklık özellikle işletmelerin tedarik zincirlerinde ve lojistik faaliyetlerinde ortaya çıkmıştır. Fakat işletmelerin başarısı, küresel anlamda rekabet edebilirliği ve sürekliliği açısından tedarik zincirinde ve lojistik faaliyetlerde güçlü bir yapının oluşturulması zorunluluk haline gelmiştir. Bu çerçevede de lojistik 4.0 faaliyetleri kapsamında yaşanan dijitalleşme faaliyetleri işletmeler açısından kritik bir unsur haline gelmiş ve günümüzün en popüler konularından birisi olmuştur. Diğer sanayi devrimlerinde olduğu gibi 4. Sanayi devriminden de en fazla etkilenen sektörlerden birisi olan lojistik sektörünün birçok avantajı beraberinde getiren bu dijital dönüşümden daha fazla faydalanması beklenen ve istenen bir durumdur. Fakat yapılan farklı akademik araştırmalarda (Ulusoy, 2019; Çıkmak ve Yazgan, 2023; Taş ve Alagöz, 2021; Ekincioglu, 2019; Bolat, 2019; Özdemir ve Özgüner, 2018) bu dijital dönüşümden lojistik işletmelerinin farklı nedenlerle faydalanamadıkları

sonuçlarına ulaşılmıştır. Aygün ve Satı (2022) ile Küçük (2023) gibi araştırmalarda da ifade edildiği üzere lojistik 4.0 uygulamalarından yeterince faydalanılamamasının önündeki en büyük eksikliklerden birisinin de bu konudaki bilgi eksikliği ve farkındalık düzeyinin düşük olmasıdır. Ülke ekonomisi ve işletmelerin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öneme sahip olan bir dönüşümden Güngör'ünde (2024) ifade ettiği üzere bu konu ile ilgili hem çalışmalar artırılmalı hem de sektör çalışanlarının bu konuda farkındalık düzeylerinin artırılması gerekmektedir.

Bu çerçevede çalışmada lojistik 4.0 teknolojilerden faydalanan işletmelerin mevcut durumlarını ortaya koyarak bu dijital dönüşümün lojistik süreçlerdeki etkilerini değerlendirmek ve Endüstri 4.0 çerçevesinde gelişen teknolojilerin lojistik sektörü üzerindeki dönüşüm süreçlerine odaklanarak konuyla ilgili farklı alanlarda farkındalık oluşturup uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca, Türkiye'deki lojistik sektörünün dijitalleşme sürecine ne ölçüde adapte olduğu ve bu sürecin sektördeki genel dinamikler üzerindeki etkilerinin ne olduğu da araştırılacak, böylece lojistik yöneticilerine ve politika yapıcılara öneriler sunulacaktır. Birçok sektörde henüz gelişme aşamasında olan ve uygulamada henüz oturmamış bir teknoloji olan lojistik 4.0 uygulamalarının lojistik sektöründeki durumu hakkında bilgilerin ortaya konulması sektörel gelişme açısından önem arz ettiği düşünülmektedir.

#### **4. Araştırmanın Metodolojisi**

##### **4.1. Araştırma Evreni ve Örneklemi**

Araştırma bir saha araştırması olup, araştırma evrenini İzmir İlinde faaliyet gösteren Lojistik 4.0 uygulamalarından en az birisini kullanan orta ve büyük ölçekli lojistik işletmeleri oluşturmaktadır. Araştırma evreninin İzmir'deki lojistik işletmelerinin seçilmesinde liman ve ticaret kenti olmasının yanı sıra erişilebilirlikte etkili olmuştur. Veriler İzmir ilinde faaliyet gösteren 40 farklı lojistik işletmesinde çalışan orta ve üst düzey yöneticilerle yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Bu firmalarla Lojistik 4.0'a yönelik uygulamaları hakkında derinlemesine görüşmeler yapılmıştır. Görüşmelerde, firmaların dijital dönüşüm sürecindeki deneyimleri, karşılaştıkları zorluklar ve elde ettikleri faydalar hakkında detaylı veriler toplanmıştır. İlk aşamada 58 farklı işletme ile görüşülmüş fakat 18 işletme lojistik 4.0 uygulamalarından faydalanmadıkları gerekçesiyle araştırmaya dahil edilmemiştir.

#### **4.2. Veri Toplama Yöntemi**

Araştırma da nitel araştırma yöntemlerinden birisi olan ve bazı kaynaklarda mülakat olarak ifade edilen görüşme tekniğinden faydalanılmıştır (Punch, 2005) Görüşmenin farklı yöntemleri olmakla birlikte Aziz'e göre (2011) görüşmeler nitel (derinlemesine) ve nicel (yüzeysel) görüşmeler şeklinde ikiye ayrılmakta ve nicel görüşmede sorular cevap şıkları ile birlikte verilmektedir. Kısa sürede veri toplanabilmesi ve sayısallaştırılabilmesi açısından uygun bir yöntem olan nicel görüşme araştırmada tercih edilmiş (Yağar ve Dökme, 2018) ve yapılandırılmış görüşme ile verilerin bir kısmı yüz yüze bir kısmı da çevrimiçi olarak elde edilmiştir. Hazırlanan görüşme formunun ilk kısmında demografik sorular yer alırken ikinci kısmında Gülçiçek (2024), Güngör ve İnce (2024) ve Tolun (2019) çalışmalarından faydalanılarak yapılandırılmış 7 Adet soru yer almıştır.

#### **5. Araştırma Verilerinin Analiz ve Bulguları**

Araştırma verileri betimsel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Tablo 1'de araştırmaya katılan bireylerin demografik özelliklerine göre dağılımlarına yer verilmiştir. Katılımcıların 8'i kadın, 32'si erkek ve büyük çoğunluğu (15) 41-50 yaş aralığında bireylerden oluşmaktadır. Eğitim durumları incelendiğinde ise çoğunluğun önlisans (13) seviyesinde eğitime sahip oldukları anlaşılmaktadır. Araştırmaya katılan bireyler müdür/genel müdür, müdür yardımcısı, tedarik zinciri/lojistik sorumlusu , planlama uzmanı , depo sorumlusu, operasyon müdürü ve girişimci pozisyonlarında çalışmaktadırlar. Katılımcıların işletmenin faaliyet süresi ile ilgili verdikleri cevapların dağılımı incelendiğinde ise 11-15 yıl aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.

**Tablo 1.** Katılımcıların Demografik Özelliklerine Göre Dağılımı

|                            | <b>Değişkenler</b>                 | <b>n</b>  |
|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| Cinsiyet                   | Kadın                              | 8         |
|                            | Erkek                              | 32        |
| Yaş                        | 30 ve altı                         | 11        |
|                            | 31-40 arası                        | 8         |
|                            | 41-50 arası                        | 15        |
|                            | 51 ve üzeri                        | 6         |
| Eğitim durumu              | Lİse                               | 8         |
|                            | Ön lisans                          | 13        |
|                            | Lisans                             | 9         |
|                            | Yüksek lisans                      | 6         |
|                            | Doktora                            | 4         |
| İşletmedeki pozisyon       | Müdür/genel müdür                  | 2         |
|                            | Müdür yardımcısı                   | 5         |
|                            | Tedarik zinciri/lojistik sorumlusu | 13        |
|                            | Planlama uzmanı                    | 5         |
|                            | Depo sorumlusu                     | 6         |
|                            | Operasyon müdürü                   | 7         |
|                            | Girişimci                          | 2         |
| İşletmenin faaliyet süresi | 1-5 yıl                            | 3         |
|                            | 6-10 yıl                           | 12        |
|                            | 11-15 yıl                          | 14        |
|                            | 16-20 yıl                          | 4         |
|                            | 21 yıl ve üzeri                    | 7         |
| <b>Toplam</b>              |                                    | <b>40</b> |

Tablo 2 incelendiğinde işletmelerin lojistik süreçlerde kullandıkları teknolojilere iyi düzeyde hakim oldukları görülmektedir. Dolayısıyla teknolojiyi kullanan işletmelerin zamanla bu teknolojilere uyum sağladıkları ifade edilebilir.

**Tablo 2.** Lojistik Süreçlerde Dijital Teknolojilerin Kullanımına Ne Kadar Hakimsiniz? Sorusuna İlişkin Görüşler

| İşletme    | Az | Orta | İyi | Çok İyi |
|------------|----|------|-----|---------|
| 22 İşletme |    |      | X   |         |
| 8 İşletme  |    | X    |     |         |
| 7 İşletme  | X  |      |     |         |
| 3 İşletme  |    |      |     | X       |

Tablo 3'te işletmelerin Otomatik Depo Sistemleri, Nesnelerin İnterneti, Yapay Zeka, RFID Teknolojisi, Robotik ve Blockchain teknolojilerini kullandıkları görülmektedir. Fakat daha fazla işletme otomatik depo sistemlerini

kullanmakta ve sonra sırasıyla nesnelerin interneti teknolojilerini kullandıklarını ifade etmişlerdir.

**Tablo 3.** İşletmenizde Hangi Lojistik 4.0 Teknolojileri Aktif Olarak Kullanılmaktadır? Sorusuna İlişkin Görüşler

| İşletme    | Otomatik Depo Sistemleri | Nesnelerin İnterneti | Yapay Zeka | RFID Teknolojisi | Robotik | Blokchain |
|------------|--------------------------|----------------------|------------|------------------|---------|-----------|
| 18 İşletme | X                        |                      |            |                  |         |           |
| 12 İşletme |                          | X                    |            |                  |         |           |
| 6 İşletme  |                          |                      | X          | X                |         |           |
| 4 İşletme  |                          |                      |            |                  | X       | X         |

Tablo 4’te katılımcıların lojistik 4.0 uygulamalarının işletmelerine en büyük katkısının maliyetlerin azalması konusunda olduğunu düşündükleri görülmektedir. Daha sonra da sırasıyla yüksek verimlilik, stok avantajı, memnuniyet ve hızlı teslimat konularında işletmelerine katkı sağladığını düşünmektedirler.

**Tablo 4.** Lojistik 4.0’ın İşletmeye Sunduğu Katkılar Nelerdir? Sorusuna İlişkin Görüşler

| Kişiler    | Az Maliyet | Yüksek Verimlilik | Hızlı Teslimat | Stok Avantajı | Memnuniyet |
|------------|------------|-------------------|----------------|---------------|------------|
| 22 İşletme |            |                   |                |               | X          |
| 30 İşletme |            | X                 |                |               |            |
| 7 İşletme  |            |                   | X              |               |            |
| 26 İşletme |            |                   |                | X             |            |
| 33 İşletme | X          |                   |                |               |            |

Tablo 5’te araştırmaya katılan bireylerin lojistik sektöründeki işletmelerin lojistik 4.0 teknolojilerinden daha fazla faydalanmalarını sağlamak amacıyla işletmeler üzerinde farkındalığın artırılması gerektiğini düşündükleri görülmektedir.

**Tablo 5.** Lojistik 4.0 Uygulamalarının Yaygınlaştırılabilirliği Açısından Nelere İhtiyaç Vardır? Sorusuna İlişkin Görüşler

|                                        | Önem Dereceleri |
|----------------------------------------|-----------------|
| Farkındalığın artırılması              | 4.8             |
| Devlet desteği                         | 4.3             |
| Sektörde Gerekli eğitimlerin verilmesi | 4.1             |

Tablo 6' ya göre bireyler uygulamaların kullanılabilirliği için teknolojik alt yapıya daha fazla ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. Daha sonra ise sırasıyla Üst Yönetimin Desteği, Sürekli Öğrenme ve Eğitim, Çalışanlar İçin Yeni İş Tanımları ve Sürekli Öğrenme ve Eğitime ihtiyaç duyulacağını düşündükleri görülmektedir.

**Tablo 6.** Lojistik 4.0 Uygulamalarının Kullanılmaya Başlanmasında En Çok Nelere İhtiyaç Duyulmaktadır? Sorusuna İlişkin Görüşler

|                                   | Önem Dereceleri |
|-----------------------------------|-----------------|
| Teknolojik Alt Yapı               | 4.5             |
| Üst Yönetimin Desteği             | 4.3             |
| Sürekli Öğrenme ve Eğitim         | 4.0             |
| Çalışanlar İçin Yeni İş Tanımları | 3.8             |
| Sürekli Öğrenme ve Eğitim         | 3.7             |

Tablo 7' ye göre işletmelerin lojistik 4.0 uygulamalarından faydalanmalarının en temel sebebinin maliyetleri düşürme olduğu söylenebilir. Yoğun rekabet ortamında işletmelerin rekabeti açısından maliyetin ön plana çıktığı bir dönemde işletmelerin bu amaçla teknolojilere adapte olmaları makul kabul edilmektedir. Müşteri isteklerinin zamanında karşılanmasının da yine işletmeler açısından öneminin her geçen gün artmasıyla birlikte, işletmelerin ikinci sırada müşteri isteklerini karşılama amacıyla bu teknolojileri kullandıkları görülmektedir.

**Tablo 7.** Lojistik 4.0 Teknolojilerini Kullanma Sebepleriniz Hangileridir? Sorusuna İlişkin Görüşler

|                                       | Önem Dereceleri |
|---------------------------------------|-----------------|
| Maliyetleri düşürme                   | 4.7             |
| Müşteri isteklerini karşılama         | 4.5             |
| Verimlilik artışı sağlama             | 4.4             |
| İşletmenin tanınırlığının artırılması | 4.2             |
| Dijitalleşme sürecine uyum sağlama    | 4.0             |
| Zaman tasarrufu                       | 3.8             |
| Performans artışı                     | 3.7             |

Tablo 8' e göre lojistik 4.0 uygulamaları için yapılması gereken teknik ihtiyaçların başında yazılım ihtiyacı gelmektedir. Daha sonra da bu konuda süreç haritasının çıkartılarak süreç analizleri yapılmalıdır. Adaptasyon açısından bu süreç analizleri aslında işletmelerin başarısında ve sonraki süreçlerin uygulanabilirliğinde önem arz edebilmektedir.

**Tablo 8. Lojistik 4.0 İçin Yapılması Gereken Teknik İhtiyaçlar Nelerdir?**  
Sorusuna İlişkin Görüşler

|            | <b>Teknik İhtiyaçlar</b>                 |
|------------|------------------------------------------|
| 10 İşletme | Yazılım                                  |
| 9 İşletme  | Süreç Haritasının Çıkarılması            |
| 9 İşletme  | Süreç Analizlerinin Yapılması            |
| 8 İşletme  | Depolama Faaliyetlerinin İyileştirilmesi |
| 4 İşletme  | İş Yapılış Süreçleri Risk Analizleri     |

### Sonuç

Tüm sektörlerle etkileşim halinde olarak onlara hizmet sunan lojistik sektöründe hızlı bir dijital dönüşüm söz konusudur. Geçmişte olduğu gibi günümüz de de bu teknolojik dönüşümlere hızlı uyum sağlayan işletmelerin rekabet avantajı kazanmaları aşıkardır. Fakat özellikle bazı büyük işletmelerin bu dijital dönüşümün sağlayacağı avantajlardan faydalanmak amacıyla yatırım yapmaya başlamasına rağmen, henüz istenilen seviyede bir uyum süreci elde edilememiştir. Yapılan araştırmalarda da özellikle vasıflı iş gücü eksiliği (Küçük, 2023) ile bilgi ve farkındalık eksikliğinin (Aygün ve Satı, 2022) bunun üzerinde etkisinin büyük olduğu vurgulanmaktadır. Bigliardi vd. (2021)'nin de ifade ettiği üzere lojistik işletmelerinin doğru ve güvenilir veriler toplayıp analiz etmelerinde büyük fırsatlar sunan bu teknolojilerin işletmeler tarafından daha yaygın kullanılması coğrafi konumun vermiş olduğu avantajla birlikte lojistik üs olma hedefi olan Türkiye ekonomisi ve işletmeler açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Bu çerçevede çalışmada lojistik 4.0 teknolojilerden faydalanan işletmelerin mevcut durumlarını ortaya koyarak bu dijital dönüşümün lojistik süreçlerdeki etkilerini değerlendirmek ve Endüstri 4.0 çerçevesinde gelişen teknolojilerin lojistik sektörü üzerindeki dönüşüm süreçlerine odaklanarak konuyla ilgili farklı alanlarda farkındalık oluşturup uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Elde edilen veriler sonucunda araştırmaya katılan firmaların çoğunun, lojistik süreçlerde dijital teknolojilere iyi derecede hakim oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Birçok işletmenin, dijitalleşme sürecinin henüz başlangıç aşamalarında olduğunu, bazı operasyonel süreçlerin otomatikleştirilmesi ve dijital araçların kullanımı için yatırımlarını sürdürdüklerini vurgulamalarına rağmen

araştırmaya katılan işletmelerin kullandıkları teknolojiler açısından kendilerini geliştirdiklerini düşündükleri görülmektedir. Dolayısıyla bu teknolojiler konusunda bilgi eksiği olan işletmelerin de bu teknolojileri kullanmaya başlamalarıyla birlikte bu eksiklerini giderebilecekleri düşünülmektedir. Yapılan görüşmelerde özellikle büyük ölçekli firmalar, lojistik operasyonlarında dijital teknolojileri daha etkin bir şekilde kullandıklarını, orta ölçekli firmaların ise bu teknolojilerin yalnızca belirli alanlarında fayda sağladıklarını ve daha fazla dijitalleşmeye ihtiyaç duyduklarını dile getirmişlerdir.

Araştırma bulguları, işletmelerin Otomatik Depo Sistemlerini ve Nesnelerin İnterneti uygulamalarını daha yaygın kullandıklarını göstermektedir. Bunun yanında bazı firmalar, lojistik süreçlerini daha verimli hale getirebilmek için yapay zeka, RFID teknolojisi, robotik ve blockchain teknolojilerinden de faydalanmaktadırlar. İşletmeler bu teknolojileri özellikle maliyetleri düşürmek ve müşteri isteklerini karşılamak amacıyla kullandıklarını ifade etmişlerdir. Sonuç itibarıyla de teknolojilerden faydalanan işletmeler düşük maliyet ile yüksek verimlilik açısından kendilerine bu teknolojilerin katkı sağladığını belirtmişlerdir. Yoğun rekabetin yaşandığı bir dönemde işletmelerin bu teknolojilere adaptasyonunun gerçekleşmesiyle beraber daha fazla avantajın elde edileceği de düşünülmektedir. Solvay (2017), Lin ve Yang (2018) de yaptıkları araştırma sonuçlarında bu teknolojileri kullanan işletmelerin farklı konularda avantajlar elde edeceği sonucuna ulaşmışlardır. Dolayısıyla özellikle küresel boyutta faaliyette bulunan büyük işletmelerin ortaya çıkmasında bu teknolojilerin yadsınamayacak derece de faydasının olacağı düşünülmektedir.

Lojistik 4.0 uygulamalarının yaygınlaştırılabilmesi açısından ise katılımcıların verdiği cevaplar farkındalığın artırılmasının, devlet desteğinin sağlanmasının ve sektörde gerekli eğitimlerin verilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Kullanılan birçok teknoloji aslında işletmeler tarafından duyulan teknolojiler olmasına rağmen bu teknolojiler hakkında detaylı bilgilerinin olmadığı, farkındalık düzeylerinin düşük olduğu düşünülmekte ve daha önce ifade edildiği gibi farklı araştırma sonuçlarında da vurgulanmaktadır. Bu çerçevede akademik çalışmaların artırılmasının, ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından gerekli eğitimlerin verilmesinin bu konuda faydalı olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca ilgili teknolojileri kullanan işletmelere kamu tarafından ekonomik anlamda desteklerin verilmesi ve yaygınlaşması işletmelere ekonomik anlamda da büyük kolaylık sağlayacağı beklenmektedir. Lojistik 4.0 uygulamalarının kullanılmaya başlanmasında da işletmelerin en çok teknolojik altyapıya ihtiyaç duydukları ifade edilmiştir. Kullanılan uygulamaların hepsi teknolojik alt yapı gerektiren uygulamalar olması sebebiyle işletmelerin bu alana yatırım yapmaları

gerektirmektedir. Bu doğrultuda da özellikle farklı yazılımlara ve süreç haritalarının çıkarılmasına ihtiyaç söz konusudur.

Lojistik sektöründeki dijital dönüşüm süreci, her işletmede farklı hızlarla ilerlemektedir. İşletmelerin dijital dönüşüm sürecindeki olgunluk seviyeleri, teknolojilerin önem derecelerini etkileyebilmektedir. Araştırma bulguları, dijital teknolojilerin lojistik süreçlerde devrim yaratabileceğini ve sektöre önemli rekabet avantajları sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Lojistik sektörüne sağladığı en önemli avantajların maliyet ve verimlilik artışı olduğu göz önüne alındığında, bu teknolojilerin işletmeler açısından ne kadar kritik bir konuda öneme sahip olduğu da anlaşılmaktadır. Bu çerçevede başarılı bir dijital dönüşüm için firmalara teknik altyapıya yatırım yapmaları, çalışanlarının dijital yetkinliklerini artıracak eğitim programlarına katılmalarını sağlamaları ve dijitalleşmenin güvenli bir şekilde yönetilmesi için stratejiler geliştirmeleri önerilmektedir. Ayrıca lojistik sektörünün ülke ekonomisi açısından önemi düşünüldüğünde bu konuda kamu tarafından işletmelere gerekli desteklerin sağlanmasının ve sektörel iş birliklerinin yapılmasının da faydalı olacağı öngörülmektedir.

Araştırmanın Lojistik 4.0'ın lojistik sektöründeki uygulamalarına dair yenilikçi bir bakış açısı sunması açısından literatüre katkı sağlaması beklenmektedir. Özellikle Türkiye'deki lojistik firmalarının dijital dönüşüm süreçlerine ilişkin elde edilen bulgular, sektördeki diğer araştırmalar için değerli bir referans kaynağı olabilecektir. Araştırma bu teknolojileri kullanan işletmelerin mevcut durumlarını ortaya koyarak lojistik işletmelerine dijital dönüşüm sürecinde nasıl daha verimli olabilecekleri konusunda somut öneriler sunmaktadır. Bu açıdan da işletmelerin dijital teknolojilere yatırım yaparak, çalışanlarını bu değişime hazırlamaları ve eğitim süreçleri düzenlemeleri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, lojistik yöneticilerinin, teknolojiyi sadece maliyetleri azaltan bir araç değil, aynı zamanda stratejik rekabet avantajı sağlayan bir kaynak olarak değerlendirmeleri de teknolojilerin yaygınlaştırılması açısından önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, dijital dönüşüm lojistik sektörü için bir zorunluluk haline gelmiştir. Firmaların bu dönüşümü etkili bir şekilde yönetebilmeleri için teknolojik altyapıya yatırım yapmaları ve aynı zamanda süreçleri insan odaklı bir yaklaşımla şekillendirmeleri gerekmektedir. Lojistik 4.0'ın sunduğu potansiyelden en iyi şekilde faydalanabilmek için, sektördeki tüm paydaşların iş birliği yaparak dijitalleşmeye dair kapsamlı bir strateji geliştirmeleri büyük önem taşımaktadır. Yapılan araştırmada bazı kısıtlar da söz konusudur. Çalışma evreni İzmir ilinde faaliyet gösteren lojistik işletmeleri ile sınırlı tutulmuştur. Araştırma evrenine diğer şehirlerdeki lojistik işletmelerinin de dahil edilmesi hem literatürün zenginleşmesine hem de bu konuda farkındalığın artırılmasına katkı sağlayabilecektir.

## KAYNAKÇA

- Abdirad, M. and Krishnan, K. (2021). Industry 4.0 in logistics and supply chain management: A systematic literature review. *Engineering Management Journal*, 33(3), 187-201.
- Alipour, S. P., Ustundag, A., Cevikcan, E., Sarvari, P. A., Kaya, I., and Cebi, S. (2018). Technology roadmap for Industry 4.0. In A. Ustundag & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. 95–103.
- Aygün, D., and Satı, Z. E. (2022). Evaluation of Industry 4.0 transformation barriers for SMEs in Turkey. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1), 239–255.
- Bigliardi, B., Casella, G., and Bottani, E. (2021). Industry 4.0 in the logistics field: A bibliometric analysis. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 3(1), 4-12.
- Bolat, S. (2019). Dördüncü Sanayi Devriminin lojistik sektörüne etkileri: Antalya Bölgesinde lojistik faaliyette bulunan işletmelerde bir araştırma. *Akdeniz Üniversitesi*.
- Çıkmak, S. ve Yazgan, H. İ. (2023). Lojistik sektöründe endüstri 4.0 teknolojilerinin önündeki engellerin bulanık Delphi yöntemiyle incelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(88), 2065-2086.
- Ekincioglu, O. (2019). Lojistik yöneticilerinin endüstri 4.0'ın işletme düzeyindeki etkilerine ilişkin görüşleri üzerine nitel bir araştırma: Bursa örneği. *Celal Bayar Üniversitesi*.
- Gülçiçek Tolun, B. (2024). Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının değerlendirilmesinde Ahp ve Swara yöntemlerinin karşılaştırılması. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 836-854.
- Güngör, Ş. ve İnce, M. (2024). Lojistik İşletmelerinin Lojistik 4.0 Algılarının İncelenmesi: Nitel Veri Analizi. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 1145-1172.
- Güngör, Ş. (2024). Lojistik işletmelerinin lojistik 4.0 algılarının incelenmesi: Akdeniz Bölgesi örneği. *Tarsus Üniversitesi*.
- Işık, F. (2016). Sanayi Devrimi İçin Geç Kalma Lüksümüz Bulunmuyor. *Ekonomik Forum Dergisi*, 259, 1727.
- Kovács, G. and Kot, S. (2016). New logistics and production trends as the effect of global economy changes. *Polish Journal of Management Studies*, 14(2), 115-126.
- Küçük, B. (2023). Limanlarda etkinliğin artırılmasında akıllı lojistik başarı kriterlerinin ağırlıklandırılması ve en ideal süreç yönetimi yaklaşımının seçimi: Samsun ili örneği *Giresun Üniversitesi*.

- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S. and Rao, S. S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega*, 34(2), 107-124
- Lin, C.C. and Yang, J.W. (2018). Cost-Efficient deployment of fog computing systems at logistics centers in industry 4.0, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4603-4611.
- Mueller, J. M. and Voigt, K. I. (2018). The impact of industry 4.0 on supply chains in engineer-to-order industries-an exploratory case study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 122-127.
- Özdemir, A. ve Özgüner, M. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne etkileri: Lojistik 4.0. İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, 6(4), 39-47. 900
- Öztemel, E. ve Gürsev, S. (2018). Türkiye’de lojistik yönetiminde endüstri 4.0 etkileri ve yatırım imkânlarına bakış üzerine anket uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(2), 145–154.
- Pamuk, S. ve Soysal, M. (2018). Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 üzerine bir inceleme. *Verimlilik Dergisi*, 1, 41-66.
- Punch, K. F. (2005). Sosyal araştırmalara giriş, (Çev.) Bayrak D., Arslan H. B. ve Z. Akyüz, Ankara: Siyasal Kitabevi.
- Saatçioğlu, Y., Gökçe T. ve Özispa N. (2018). Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne yansımalarının örnek olay kapsamında değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23, 1675-1696.
- Scherf, J. (2018). Was ist Logistik 4.0? Alles zum Thema Digitalisierung & Logistik. <https://www.mmlogistik.vogel.de/was-ist-logistik-40-alles-zum-thema-digitalisierung-logistik-a-692722>
- Schiemann, J. (2016), Logistics 4.0 how autonomous are self-managed processes?, AXIT Research Report, Frankenthal.
- Sener, S. ve Elevli, B. (2017). Endüstri 4.0’da yeni iş kolları ve yüksek öğrenim. *Mühendis Beyinler Dergisi*, 1 (2), 25-37.
- Solvay, A.F., Hoffmann, M., Haberstroh, M., Schouba, P., Meisen, T. and Jeschke, S. (2017). Is logistics ready for 4.0? - Key Findings of An Extensive Market Research. *ITS World Congress 2017*, 1-11.
- Taş, A. ve Alagöz, S. B. (2021). Lojistik sektörü özelinde Endüstri 4.0 farkındalık düzeyleri üzerine bir araştırma. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 23(41), 404-417. 896
- Tolun, B. (2019). Lojistik 4.0 ihtiyaçlarının belirlenmesin kalite fonksiyon göçerimi, *İksad Yayınları*, Ankara.

- Ulusoy, G. (2019). Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik sektöründe operasyonel verimlilikle ilişkisi üzerine bir araştırma. Marmara Üniversitesi.
- Wiengarten, F.; Pagell, M.; Ahmed, M.U.; Gimenez, C. (2014). Do a country's logistical capabilities moderate the external integration performance relationship? J. Oper. Manag. 32, 51–63.
- Yağar, F. ve Dökme, S. (2018). Niteliksel araştırmaların planlanması: Araştırma soruları, örneklem seçimi, geçerlik ve güvenirlik. Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi, 3(3), 1-9.
- Yılmaz, Ü. ve Duman, B. (2019). Lojistik 4.0 kavramına genel bir bakış: geçmişten bugüne gelişim ve değişimi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 4 (1), 186-200.

## **5. Bölüm**

# **Sipariş Toplama Operasyonlarında İnsan Merkezli Simülasyon Modelleri: Eğilimler ve Gelecek Yönelimler**

**Dr. Öğr. Üyesi Suzan OĞUZ<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Çağ Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Dış Ticaret Bölümü,  
suzanoguz@cag.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-4876-3173

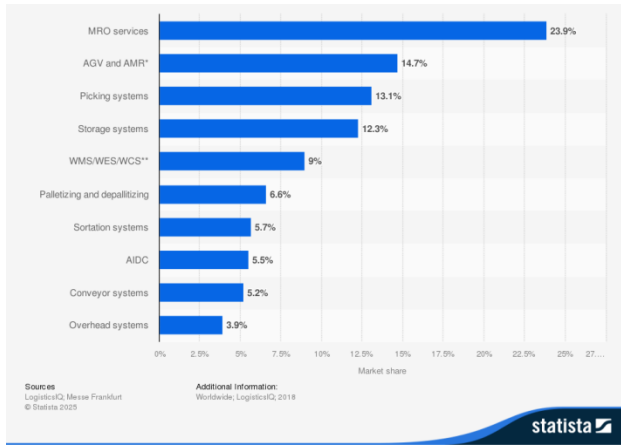
## 1. GİRİŞ

Depolar, insanlık tarihi boyunca ticaretin temel bileşenlerinden biri olarak var olmuş, ürünlerin depolanması ve değişim süreçlerinin merkezinde yer almıştır. Sanayi devrimleriyle birlikte üretim ve dağıtım sistemlerinin evrimi, depoları yalnızca bir stok alanı olmaktan çıkarak stratejik lojistik merkezler haline getirmiştir. Depolar günümüzde de üreticiler, tedarikçiler, distribütörler ve taşımacılar arasındaki malzeme akışını yöneten kritik noktalar olma işlevini sürdürmektedir (Nguyen vd., 2024). Depolarda yürütülen sipariş toplama operasyonları, tedarik zinciri performansını doğrudan etkileyen en zaman ve maliyet yoğun süreçlerden bir tanesidir. Dijitalleşme ve son yıllarda önemi gittikçe artan Endüstri 5.0 paradigmasıyla birlikte bu operasyonlarda insan-makine iş birliğine (Human-Robot Collaboration, HRC) dayalı sistemler giderek yaygınlaşmakta; özellikle otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV) insan çalışanlarla aynı çalışma alanını paylaşarak süreçleri daha esnek ve verimli hale getirmektedir.

E-ticaretin küresel ölçekte hızla gelişmesi, lojistik sektöründe rekabeti yoğunlaştırmış, işletmeleri daha kısa teslimat süreleri, yüksek doğruluk ve maliyet etkinliği arasında denge kurmaya zorlamıştır. Bu eğilim, akıllı ve insansız depoların yaygınlaşmasına yol açmış; birçok tesiste operasyonların büyük bölümü insan müdahalesi olmadan yürütülebilir hale gelmiştir. Böylece firmalar hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de iş gücü teminindeki zorlukları azaltmaktadır (Liu vd., 2019; Liang vd., 2023). Bu dönüşüm, depo operasyonlarının artık yalnızca depolama işleviyle sınırlı kalmadığını; rekabet avantajı ve dijital dönüşümün temel bileşeni haline geldiğini göstermektedir. Diğer taraftan tüketici taleplerinin çeşitlenmesi, artan stok tutma birimi (Stock Keeping Unit, SKU) sayısı, düşük parti büyüklükleri ve yüksek sipariş sıklığı; depo yönetiminde esneklik, doğruluk ve hız gereksinimini artırmıştır. Geleneksel manuel toplama yöntemleri düşük verimlilik ve yüksek hata oranı nedeniyle yetersiz kalmakta; buna karşılık otomasyon tabanlı çözümler yüksek yatırım maliyetleri ve sınırlı uyarlanabilirlik gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Yao & Gong, 2024). Bu çelişki, yalnızca verimliliğe değil, aynı zamanda insan-makine dengesine ve sürdürülebilir süreç tasarımı odaklanan yeni yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, akıllı depo otomasyonu artık sadece teknik bir verimlilik aracı değil, sürdürülebilirlik ve insan faktörleriyle uyumlu sistem tasarımı açısından stratejik bir gereklilik haline gelmiştir (Olaizola-Arregui vd., 2025). Bu gelime ve eğilimler, depo operasyonlarında teknolojik yeniliklerin tek başına yeterli olmadığını, başarı için insan odaklı karar mekanizmaları, esnek görev planlaması ve sürekli

iyileştirmeyi destekleyen bütüncül yönetim yaklaşımlarının da gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Küresel depo otomasyonu pazar payının teknoloji türlerine göre dağılımı Şekil 1’de gösterilmektedir. 2025 yılının sonuna gelindiğinde, en yüksek pazar payının bakım, onarım ve işletim (MRO) hizmetlerine ait olacağı; ve bu hizmetlerin toplam pazarın %23,9’unu oluşturması beklenmektedir. Bunu sırasıyla otonom ve otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV ve AMR) %14,7, otomatik toplama sistemleri %13,1 ve depolama sistemleri %12,3 oranlarıyla takip etmektedir. Depo yönetim, yürütme ve kontrol sistemleri (WMS/WES/WCS) ise %9’luk payla önemli bir konumda yer almaktadır.



**Şekil 1.** Küresel depo otomasyonu pazar payının teknoloji türlerine göre dağılımı  
**Kaynak:** Statista, 2025

Bu dağılım, depo operasyonlarının dijitalleşme sürecinde yalnızca robotik sistemlerin değil, aynı zamanda yazılım tabanlı yönetim çözümleri ve bakım hizmetlerinin de stratejik önem kazandığını göstermektedir. Özellikle MRO hizmetlerinin yüksek payı, sürdürülebilir ve kesintisiz operasyonlar için verimlilik odaklı bakım süreçlerinin artan kritik rolünü vurgulamaktadır (Statista, 2025).

Simülasyon tabanlı yaklaşımlar, insan–robot etkileşiminin farklı senaryolar altında modellenmesi ve sistem düzeyinde değerlendirilmesi için güçlü bir araç sunmaktadır. Simülasyon, karmaşık depo sistemlerinde karar destek sağlayarak iş yükü dağılımı, rota optimizasyonu, kaynak verimliliği ve ergonomik risklerin nicel analizine olanak tanımaktadır (Mocan vd., 2022; Abdul Rahman vd., 2023). Bu kapsamlı analiz kabiliyeti, depo yöneticilerinin sadece verimliliği

değil, aynı zamanda insan iş gücünün güvenliğini ve konforunu da maksimize edecek stratejik kararları almasını sağlamaktadır.

Endüstri 5.0 paradigması, teknolojiyi insanın tamamlayıcısı olarak konumlandırarak sosyo-teknik sistemleri yalnızca performans odaklı değil, aynı zamanda insan refahı, öğrenme ve uyum yeteneği açısından da yeniden tanımlamaktadır. Bu nedenle, depo operasyonlarında kullanılan simülasyon yöntemlerinin bu paradigma doğrultusunda geliştirilmesi, literatürdeki önemli bir metodolojik ve teorik ilerleme alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda bu çalışma, 2015–2025 döneminde yayımlanan ve Tedarik Zinciri & Lojistik alanında sınıflandırılan bilimsel araştırmalardan hareketle, AGV destekli sipariş toplama operasyonlarında insan–makine işbirliğine odaklanan simülasyon tabanlı yaklaşımları kapsamlı biçimde incelemektedir. Web of Science veri tabanında belirlenen 36 çalışma, simülasyonun sistem tasarımı, operasyonel karar destek ve insan faktörlerinin entegrasyonu bağlamında nasıl konumlandığını araştırmak üzere detaylı incelemektedir. Dolayısıyla bu çalışma, depo otomasyonu literatüründe insan merkezli simülasyon araştırmalarını bütüncül biçimde özetlemek ve geleceğe dönük metodolojik yönelimler önermek üzere kurgulanmıştır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sipariş toplama, müşteri siparişlerini karşılamak amacıyla ürünlerin depolardan toplanması sürecidir ve hem müşteri hizmet düzeyini korumak hem de operasyonel maliyetleri azaltmak açısından en kritik depo fonksiyonlarından biridir (Lolli vd., 2022; Cai vd., 2021). Bu süreçlerin dijitalleşmesi, Endüstri 4.0 ile başlayan teknolojik dönüşümün bir sonucu olarak, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve robotik otomasyon gibi teknolojilerin entegre kullanımını gerektirmektedir (Xing vd., 2020; Olaizola-Arregui vd., 2025). Bu dönüşüm, Endüstri 5.0 yaklaşımıyla birlikte teknolojinin insan merkezli, sürdürülebilir ve işbirlikçi biçimde kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır (Yang vd., 2025). Özellikle son yıllarda otomatik yönlendirmeli araçlar ve işbirlikçi robotlar gibi teknolojiler, depo süreçlerinde insan operatörlerle aynı çalışma alanını paylaşarak insan–makine işbirliği kavramını öne çıkarmıştır. Bu işbirliği modeli, yalnızca üretkenliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda iş güvenliği, ergonomi ve çalışan refahı gibi insani boyutlara da doğrudan etki etmektedir (Lorson vd., 2023; Tubis vd., 2024). Bu tür karma sistemlerde insan ve makine arasındaki etkileşim dinamiklerinin tam olarak anlaşılması, yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda davranışsal ve sistemsel analizleri de gerektirmektedir. Bu bağlamda, Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (AGV) ve Otonom Mobil Robotlar (AMR), intralojistik süreçlerin dijital

dönüşümünde kilit rol oynamaktadır. AGV'ler, önceden tanımlanmış yollar üzerinde hareket eden, taşıma ve depolama görevlerini otonom biçimde yürüten sistemlerdir. Günümüzde Amazon ve Cainiao gibi büyük şirketler, bu sistemleri yüksek doğruluk ve düşük hata oranı avantajı nedeniyle yaygın biçimde kullanmaktadır (Yu vd., 2023; Xu vd., 2022).

AGV tabanlı sistemlerin planlanması ve tasarımı, hedeflenen uygulamaya ilişkin detaylı verileri gerekli kılmaktadır. Örneğin istasyon sayısı, taşıma mesafesi ve işlem sıklığı gibi bilgiler olmadan modelleme ve simülasyon yapmak mümkün değildir (Sperling vd., 2023; Tang vd., 2021). Esnek Üretim Sistemleri (FMS) içinde yer alan AGV'ler, üretim hatlarının esnekliğini artırarak küçük partilerde kişiselleştirilmiş üretimi desteklemekte ve fabrika içi malzeme akışında manuel taşımının yerini yüksek performansla almaktadır (Mousavi, 2017a; Gao vd., 2022; Meißner & Massalski, 2020). Böylelikle üretim esnekliği, zamanında teslimat ve müşteri memnuniyeti arasındaki denge güçlenmekte; bu eğilim, intralojistik sistemlerin yalnızca otomasyon düzeyini artırmakla kalmayıp, üretim ağlarının esneklik, hız ve kişiselleştirme kapasitesini yeniden şekillendirdiğini göstermektedir. AGV'lerin yaygınlaşması, aynı zamanda veri odaklı karar destek mekanizmalarının önemini artırmakta ve insan müdahalesini sistemin tamamlayıcısı konumuna taşımaktadır (Şekil 2).



**Şekil 2.** Sipariş Toplama Operasyonlarında Otonom Taşıma

Genel olarak, güncel literatür AGV ve HRC tabanlı sistemlerin yalnızca operasyonel verimlilikle sınırlı kalmadığını; enerji verimliliği, ergonomi ve insan-makine iş birliği gibi çok boyutlu hedefleri de kapsayacak biçimde yeniden tanımlandığını ortaya koymaktadır (López vd., 2022; Yang vd., 2025). Bu nedenle, bu çalışma, teknolojik sistemlerin insan merkezli dönüşümünü

simülasyon temelli incelemeler yoluyla değerlendirmekte; Endüstri 5.0 bağlamında depo otomasyonunun insan, teknoloji ve sürdürülebilirlik ekseninde yeniden şekillenişini bütüncül biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Bununla birlikte, yükleme platformları ve depo yerleşim planlaması da otomatik sistemlerin başarısında belirleyici unsurlardır. Ancak birçok ticari lojistik merkezinde bu planlama hâlâ deneyime dayalı manuel kararlarla yapılmakta; bu da zamanlama ve kaynak kullanımında önemli verimsizliklere yol açmaktadır (Nie vd., 2025). Dolayısıyla, AGV ve AMR tabanlı sistemlerin etkinliği yalnızca teknolojik altyapıya değil, insan-makine etkileşimi, görev planlaması ve sistem koordinasyonunun bütüncül uyumuna da bağlıdır. Bu kapsamda, teknoloji-insan entegrasyonuna dayalı yaklaşımlar, Endüstri 5.0'ın insan merkezli ve esnek üretim vizyonunu somut biçimde desteklemekte; operasyonel süreçlerde verimlilik, ergonomi ve sürdürülebilirliği birlikte optimize eden yeni bir paradigma ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu dönüşüm, depo ve üretim ortamlarında teknolojik ilerlemenin insan merkezli sürdürülebilirlik anlayışıyla bütünleştirildiği yeni bir paradigma değişimine işaret etmektedir.

### **3. YÖNTEM VE BULGULAR**

Bu bölümde, sistematik literatür taraması yöntemi benimsenmiştir. Bu kapsamda sipariş toplama ve intralojistik operasyonlarında otomasyon, insan-makine iş birliği ve dijital optimizasyon yaklaşımlarını inceleyen bilimsel araştırmaları bütüncül biçimde analiz etmek amaçlanmıştır. Literatür taraması Web of Science Core Collection veri tabanında yürütülmüş ve 2015–2025 döneminde yayımlanan çalışmaları kapsamıştır. Arama sonuçları, sistematik derlemelerde şeffaflık ve tekrarlanabilirliği artırmak amacıyla PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) protokolü çerçevesinde filtrelenmiştir. Şekil 3'te gösterilen akışta, tanımlama, eleme/uygunluk ve dahil etme aşamalarını gösteren seçim süreci yer almaktadır.



**Şekil 3.** Sistematik Literatür Taraması Aşamaları

Yapılan inceleme sonucunda 35 çalışma sistematik derlemeye dahil edilmiştir. Bu çalışmalar, tematik benzerlik ve yöntemsel odak noktaları dikkate alınarak üç ana tema altında sınıflandırılmıştır:

- (i) AGV tabanlı üretim ve taşıma sistemleri,
- (ii) depo ve sipariş toplama sistemleri,
- (iii) entegre ve akıllı lojistik sistemler.

Her bir tema, çalışmalarda kullanılan yöntemsel yaklaşımlar, optimizasyon modelleri ve operasyonel çıktılar açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlgili çalışmaların ayrıntılı özetleri, sonraki alt bölümlerde sunulan tematik tablolar (Tablo 1–3) aracılığıyla gösterilmektedir. Bu tematik sınıflandırma, hem teknolojik yenilik düzeyini hem de insan–makine etkileşimi, ergonomi ve sürdürülebilirlik gibi Endüstri 5.0 boyutlarını bütüncül biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

### 3.1. AGV Tabanlı Üretim ve Taşıma Sistemleri

Bu tema altında incelenen çalışmalar, esnek üretim sistemleri (FMS) ve malzeme taşıma süreçlerinde AGV çizelgelemesi, rotalama ve enerji verimliliği konularına odaklanmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen modellerin çoğu, üretim veya montaj alanlarındaki çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmeye yöneliktir.

**Tablo 1.** AGV Tabanlı Üretim ve Taşıma Sistemleri

| Yazar(lar) ve Yıl           | Çalışmanın Amacı / Yaklaşım                                                                                                                                                                                                                                                                 | Temel Bulgular                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vivaldini vd. (2016)        | Bu çalışmada, AGV'lerin görev ataması ve rotalama problemlerini entegre biçimde ele alarak gerekli minimum araç sayısının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Metodoloji kapsamında Dijkstra ve Tabu Search algoritmaları kullanılarak endüstriyel senaryolar üzerinde simülasyon yapılmıştır.   | Çalışmanın sonucunda, uygun görev- rota atamasının operasyon maliyetlerini azalttığı ve depo düzeni ile yatırım kararları açısından etkili bir karar destek çerçevesi sunduğu görülmüştür. |
| Mousavi vd. (2017a)         | Bu çalışmada, esnek üretim sistemlerinde AGV'lerin görev planlamasını çok amaçlı olarak optimize etmek amacıyla genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve hibrit GA-PSO modelleri entegre edilmiştir. Simülasyon uygulamaları Flexsim yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. | Çalışmanın sonucunda, hibrit GA-PSO algoritmasının makespan ve AGV sayısını azaltmada en yüksek performansı gösterdiği; operasyonel verimliliğin %79,8'e ulaştığı belirlenmiştir.          |
| Mousavi vd. (2017b)         | Bu çalışmada, çok amaçlı AGV çizelgelemesi için bulanık hibrit GA-PSO algoritması geliştirilmiştir. Modelin amacı makespan ve AGV sayısının minimizasyonudur; simülasyon doğrulaması Flexsim yazılımı ile yapılmıştır.                                                                      | Çalışmanın sonucunda, bulanık hibrit GA-PSO algoritmasının GA ve PSO'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği, işlem süresinde anlamlı iyileşme sağladığı belirlenmiştir.                         |
| Liu vd. (2019)              | Bu çalışmada, akıllı depolarda AGV planlamasını optimize etmek amacıyla iki uyarlanabilir genetik algoritma ve çoklu uyarlanabilir genetik algoritma (MAGA) entegre edilmiştir. Modelde makespan, enerji tüketimi ve AGV sayısının minimizasyonu hedeflenmiştir.                            | Çalışmanın sonucunda, MAGA algoritmasının en yüksek optimizasyon performansını sağladığı, hedef değişkenlerde yaklaşık %30 oranında iyileşme elde edildiği tespit edilmiştir.              |
| Xing vd. (2020)             | Bu çalışmada, çoklu AGV rotalama problemini çözmek için yeni bir Tabu Search algoritması önerilmiştir. Model, depo içinde birden fazla AGV'nin aynı anda çalışması sonucu ortaya çıkan çakışma problemlerini ele almıştır.                                                                  | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın toplam seyahat mesafesini azalttığı ve AGV verimliliğini artırdığı; çatışma durumlarını etkili biçimde çözdüğü gösterilmiştir.                 |
| Meißner & Massalski, (2020) | Bu çalışmada, üretim sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak amacıyla AGV'lerin elektriksel güç ve enerji tüketim modelleri oluşturulmuştur. Farklı hareket modülleri fiziksel yasalarla modellenmiş ve                                                                                 | Çalışmanın sonucunda, AGV'lerin maksimum yükte ve yüksek hızda en verimli şekilde çalıştığı; simülasyon modelinin enerji tüketimini tahmin etmede güvenilir olduğu                         |

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | simülasyonla doğrulanmıştır.                                                                                                                                                                                                                                                                        | belirlenmiştir.                                                                                                                                                                                                                           |
| Tang vd. (2021)           | Bu çalışmada, AGV tabanlı insansız depo sistemlerinin verimliliğini artırmak amacıyla ekipman konfigürasyonu ve görev çizelgelemesini bütünleştiren iki aşamalı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model, iç içe geçmiş genetik algoritmalarla çözülmüştür.                                   | Çalışmanın sonucunda, önerilen iki aşamalı modelin sipariş tamamlama süresini kısalttığı, ekipman sayısını ve işletme maliyetini azalttığı; böylece en uygun ekipman-konum kombinasyonunu sağladığı belirlenmiştir.                       |
| Gao vd. (2022)            | Bu çalışmada, esnek üretim sistemlerinde (FMS) çok tipli heterojen AGV filoları için zaman pencereli yeşil araç rotalama problemi (HFGVRPTW) ele alınmıştır. Çalışmada, taşınma mesafesi ve enerji tüketimi hedeflenmiş, genetik algoritma ile büyük komşuluk araması (GA-LNS) bütünleştirilmiştir. | Çalışmanın sonucunda, önerilen heterojen çok tipli AGV filosunun, geleneksel homojen sistemlere kıyasla atölye içi lojistikte önemli düzeyde enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.                                                   |
| He & Prabhu (2022)        | Bu çalışmada, AGV tabanlı çapraz sevkیات (cross-docking) operasyonlarının modellenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır. Ortalama Değer Analizi (MVA) ve çatallanma/birleşme (fork/join) kuyruk modeli entegre edilmiştir.                                                                          | Çalışmanın sonucunda, geliştirilen analitik modelin AGV sayısı, hizmet oranı ve kuyruk uzunluğu tahminlerinde yüksek doğruluk sağladığı; simülasyonla %28'e kadar sapma payıyla doğrulandığı tespit edilmiştir.                           |
| Xu vd. (2022)             | Bu çalışmada, yarı mamul depo (WIP) ortamında çoklu AGV sistemlerinde çarpışma ve kilitlenmeleri önlemek amacıyla Dinamik Yedek Nokta Uygulamasına (DSPA) dayalı bir koordinasyon stratejisi önerilmiştir.                                                                                          | Çalışmanın sonucunda, önerilen DSPA yönteminin hem merkezi hem de yerel kontrolör düzeyinde uygulanabilir olduğu; çarpışma çözümünde ve sistem akışında önceki yöntemlere göre daha yüksek verimlilik sağladığı gösterilmiştir.           |
| Krishnamoorthy vd. (2023) | Bu çalışmada, çok yüklü AGV'lerin iplik fabrikalarındaki (spinning mill) görev planlamasında kullanılmasını optimize etmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Yerel Arama Olasılığına Dayalı Memetik Su Döngüsü (LSPM-WC) algoritması geliştirilmiştir.                                                    | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın makespan ve fitness değerlerini azalttığı; AGV işletim verimliliğinin diğer modellere göre daha yüksek olduğu ve sistem performansını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir.                 |
| Yu vd. (2024)             | Bu çalışmada, çift yönlü kanallarda çalışan AGV'ler için görev atama ve rota optimizasyonunu sağlayan dinamik bir çizelgeleme yöntemi geliştirilmiştir. Model, iyileştirilmiş A* algoritmasına dayalı olarak çarpışma önleme odaklı tasarlanmıştır.                                                 | Çalışmanın sonucunda, çift yönlü kanal yaklaşımının tek yönlü sistemlere göre daha yüksek operasyonel verimlilik sağladığı; çarpışma ve bekleme sürelerini azalttığı tespit edilmiştir.                                                   |
| Gehlhoff vd. (2025)       | Bu çalışmada, intralojistikte AGV etkileşim alanlarının kontrolü için merkezi olmayan, ajan tabanlı iki kontrol konsepti önerilmiştir. Çalışmada, hiyerarşik (Intersection Manager) ve tamamen heterarşik sistemler karşılaştırılmıştır.                                                            | Çalışmanın sonucunda, her iki yöntemin de çarpışmaları önlemede etkili olduğu, öncelik temelli kontrolün yüksek öncelikli araçlarda zamanlamayı iyileştirdiği; ancak heterarşik sistemin iletişim yükünü 2,7 kat artırdığı belirlenmiştir |

İlgili çalışmaların bulguları, AGV planlamasında hibrit algoritmaların (ör. GA-PSO, MAGA, GA-LNS) tekil yöntemlere kıyasla daha yüksek optimizasyon başarısı sağladığını göstermektedir (Vivaldini vd., 2016; Mousavi vd., 2017a, 2017b; Liu vd., 2019; Gao vd., 2022). Ayrıca, simülasyon destekli yaklaşımların operasyonel senaryolarda karar destek aracı olarak kullanılabilirliği öne çıkmaktadır (López vd., 2022). Üretim sistemlerinde geliştirilen bu modeller, araç filosu büyüklüğü, görev atama sırası ve enerji kullanım dengesi açısından önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Sonuç olarak, bu tema kapsamındaki literatür, AGV'lerin sadece operasyonel hız ve maliyet boyutunda değil, sistem esnekliği ve sürdürülebilir üretim performansı açısından da stratejik bir bileşen haline geldiğini ortaya koymaktadır.

### 3.2. Depo ve Sipariş Toplama Sistemleri

Bu tema, sipariş toplama operasyonlarında insan-robot iş birliği, görev planlama ve enerji optimizasyonu ekseninde yürütülen araştırmaları kapsamaktadır. Literatürde, özellikle Robotik Mobil Gerçekleştirme Sistemi (RMFS), hibrit sipariş toplama (HOPS) ve cobot destekli depo sistemleri öne çıkmaktadır. Çalışmaların birçoğu, insan ve robotların aynı alanda etkileşimli biçimde çalıştığı karma sistemlerin ergonomik, ekonomik ve çevresel sonuçlarını değerlendirmektedir.

**Tablo 2. Depo ve Sipariş Toplama Sistemleri**

| Yazar(lar) ve Yıl     | Çalışmanın Amacı / Yaklaşım                                                                                                                                                                                                                                                     | Temel Bulgular                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dharmasiri vd. (2020) | Bu çalışmada, depo operasyonlarında birden fazla AGV'nin trafik kontrolünü sağlamak amacıyla gerçek zamanlı bir yol planlama algoritması önerilmiştir. Çalışmada Dijkstra temelli çarpışma önleme algoritması MATLAB ortamında simüle edilmiştir.                               | Çalışmanın sonucunda, önerilen yaklaşımın çoklu AGV trafiğinde çarpışmaları önleyerek malzeme taşıma süresini azalttığı ve depo içi lojistikte operasyonel güvenliği artırdığı belirlenmiştir.        |
| Cai vd. (2021)        | Bu çalışmada, Robotik Mobil Sipariş Yönetim Sistemi (RMFS) kapsamında depolama yeri ataması ve yol planlamasının bütünlük biçimde optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda sürdürülebilir bir COSLAPP modeli geliştirilmiş ve iyileştirilmiş A* algoritması kullanılmıştır. | Çalışmanın sonucunda, önerilen modelin sipariş toplama verimliliğini artırdığı, enerji tüketimini ve operasyon maliyetlerini azalttığı; ayrıca AGV çakışma problemlerini minimize ettiği görülmüştür. |
| He vd. (2021)         | Bu çalışmada, tıbbi atıkların otomatik olarak ayrıştırıldığı sistemlerde AGV görev planlamasını optimize etmek amaçlanmıştır. Karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş ve                                                                                               | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın atık istasyonları ve AGV'ler arasındaki görev atamasını verimli biçimde optimize ettiği; sistemin hız ve kapasite ayarlarına                              |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | dinamik programlama temelli değişken komşuluk arama algoritması önerilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                 | ilişkin karar desteği sunduğu görülmüştür.                                                                                                                                                                                                                |
| Lolli vd. (2022) | Bu çalışmada, “parts-to-picker” sisteminde depolama kapasitesi, insan toplayıcı sayısı ve AGV filosunun boyutlandırılması problemi ele alınmıştır. Markov süreçlerine dayalı bir kuyruk modeli geliştirilmiş ve ayrık olay simülasyonu ile doğrulanmıştır.                                                                    | Çalışmanın sonucunda, önerilen modelin depolama kapasitesi, iş gücü ve AGV filosu arasındaki ilişkiyi optimize ederek farklı senaryolarda sistem performansını artırdığı belirlenmiştir.                                                                  |
| López vd. (2022) | Bu çalışmada, AGV tabanlı taşıma sistemlerinin simülasyonu için esnek bir kontrol ve simülasyon çerçevesi geliştirilmiştir. Önerilen çerçeve, farklı görev ve algoritmaların küresel kontrol sistemi içinde uygulanmasını sağlamakta; Petri Net tabanlı modelleme yaklaşımıyla görevlerin modellenmesine olanak tanımaktadır. | Çalışmanın sonucunda geliştirilen simülasyon çerçevesinin hastanelerde, fabrikalarda ve depo içi lojistikte kullanılabildiği; filo büyüklüğü ve çizelgeleme politikalarının tasarımında etkin bir karar destek aracı sunduğu görülmüştür.                 |
| Mejri vd. (2022) | Bu çalışmada, insan destekli sipariş toplama süreçlerinde AGV rotalarının enerji verimliliğini artırmak amacıyla Enerji Verimli Sipariş Toplama Rotalama algoritması (EE-OPR) geliştirilmiştir. Dinamik durum grafiği yöntemi kullanılmıştır.                                                                                 | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın enerji tüketiminde ortalama %18 tasarruf sağladığı, toplama süresini ise kabul edilebilir düzeyde tuttuğu; böylece enerji verimliliği ve operasyon dengesi arasında optimal bir çözüm sunduğu belirlenmiştir. |
| Duan vd. (2022)  | Bu çalışmada, tehlikeli kimyasal depolarda çoklu AGV rotalama problemini çözmek için çift amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelde, AGV sayısı ve maksimum toplama süresinin minimizasyonu hedeflenmiştir.                                                                                                    | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın Pareto ön cephesi üzerinde üstün performans gösterdiği; çoklu AGV sistemlerinde toplama verimliliğini artırarak çatışmaları önlediği belirlenmiştir.                                                          |
| Zhang vd. (2023) | Bu çalışmada, insan-robot işbirliğine dayalı hibrit sipariş toplama sistemlerinin (HOPS) ergonomik ve ekonomik etkilerini değerlendirmek amaçlanmıştır. Ajan tabanlı simülasyon modeli kullanılmış ve farklı görev atama kuralları senaryoları test edilmiştir.                                                               | Çalışmanın sonucunda, HOPS sistemlerinin manuel veya tam otomatik sistemlere göre operasyonel maliyetleri ve insan iş yükünü azalttığı; ancak artan görev sıklığının kas-iskelet rahatsızlığı riskini yükseltebileceği belirlenmiştir.                    |
| Xie vd. (2023)   | Bu çalışmada, çoklu depo içeren AGV destekli karma raf sistemlerinde (mixed-shelves) sipariş birleştirme ve rotalama problemlerini entegre biçimde çözmek amaçlanmıştır. Genişletilmiş çoklu depo araç rotalama modeli oluşturulmuş ve değişken komşuluk arama algoritması geliştirilmiştir.                                  | Çalışmanın sonucunda, önerilen modelin karma raf sistemlerinde AGV sürüş mesafesini %62’ye varan oranda azalttığı, farklı sipariş boyutlarına uyum sağlayarak sistem verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir.                                           |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jiang vd. (2023)  | Bu çalışmada, dağıtım depolarında farklı türde AGV'lerin (forklift ve latent tip) karışık olarak kullanıldığı durumlarda görev atama ve yol planlama problemlerini çözmek amaçlanmıştır. Çalışmada, depo planı grid-harita formatına dönüştürülmüş, A* algoritması ve genetik algoritma tabanlı iki aşamalı optimizasyon yöntemi uygulanmıştır.     | Çalışmanın sonucunda, önerilen yöntemin görev tamamlama süresi ve enerji tüketimini azalttığı; depo içi AGV sayısını optimize ederek 24 saat kesintisiz operasyonun gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir.                                                                   |
| Liang vd. (2023)  | Bu çalışmada, dağıtım merkezlerinde "parts-to-picker" sistemine dayalı sipariş toplama süreçlerinde dinamik görev güncelleme ve atama stratejisi geliştirilmiştir. Hedef, müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilmek ve toplama süresini azaltmaktır. Hibrit zaman penceresi yöntemi ve iyileştirilmiş karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. | Çalışmanın sonucunda, önerilen algoritmanın yanıt süresini %22–40 oranında iyileştirdiği; çoklu AGV sistemlerinde bekleme ve tamamlama sürelerini %66 oranında azalttığı belirlenmiştir. Böylece esnek kuyruk yönetimi ve toplama verimliliğinde artış sağlanmıştır.         |
| Chen & Li (2024)  | Bu çalışmada, Robotik Mobil Sipariş Yönetim Sistemi (RMF) sistemlerinde insan–robot işbirliğine dayalı sipariş toplama verimliliğini artırmak amacıyla depolama yeri atama (SLA) problemi çözülmüştür. İnsan davranışsal faktörleri dikkate alınarak iki aşamalı sezgisel algoritma geliştirilmiştir.                                               | Çalışmanın sonucunda, benzer ürünlerin aynı pod'larda gruplanmasının robotların alma verimliliğini, davranışsal faktörlerin dikkate alınmasının ise insan topplayıcıların performansını artırdığı; böylece sürdürülebilir depo yönetimine katkı sağladığı tespit edilmiştir. |
| Tutam (2024)      | Bu çalışmada, işbirlikçi robotların (cobot) kullanıldığı sipariş toplama depolarının en uygun tasarımının belirlenmesi amaçlanmıştır. İki seviyeli programlama modeli geliştirilmiş, Monte Carlo simülasyonu ile analiz edilmiştir.                                                                                                                 | Çalışmanın sonucunda, depo şekil faktörünün (genişlik/derinlik oranı) toplama süresi üzerinde belirleyici olduğu; optimal tasarımın sipariş listesinin büyüklüğüne göre değiştiği ve cobot destekli sistemlerin toplama verimliliğini artırdığı görülmüştür.                 |
| Koreis vd. (2025) | Bu çalışmada, perakende depolarında insan–robot işbirliğine dayalı hibrit sipariş toplama sistemlerinin performansı incelenmiştir. Çalışma, gerçek saha verilerine dayalı uzunlamasına bir vaka analizi olarak yürütülmüş, 2 milyondan fazla gözlemden elde edilen çok düzeyli model kullanılmıştır.                                                | Çalışmanın sonucunda, cobot destekli sistemlerin sipariş toplama süresini %33,57 oranında azalttığı, kısa mesafeli siparişlerde daha yüksek verimlilik sağladığı; ancak etkinin ürün ağırlığı ve mesafe gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.               |

Yapılan analizler, insan–robot iş birliğine dayalı sistemlerin manuel operasyonlara kıyasla sipariş toplama süresini %30–35 oranında azalttığını ve iş gücü yükünü hafiflettiğini göstermektedir (Zhang vd., 2023; Koreis vd., 2025;

Chen & Li, 2024). Bununla birlikte, artan görev sıklığı ve yüksek tempolu toplama işlemleri ergonomik riskleri artırabilmektedir. Diğer taraftan, enerji verimli algoritmalar ve iki aşamalı optimizasyon yaklaşımları (Cai vd., 2021; Mejri vd., 2022; Liang vd., 2023) depo operasyonlarında sürdürülebilir performans-verimlilik dengesini güçlendirmektedir. Bu kapsamda geliştirilen bütünlük modeller, çakışmasız rotalama, çoklu AGV koordinasyonu ve dinamik görev ataması gibi sorunlara pratik çözümler sunmakta; sonuç olarak depo tasarımı ve insan-makine iş birliği kararlarında stratejik girdi sağlamaktadır.

### 3.3. Entegre ve Akıllı Lojistik Sistemler

Bu tema, depo ve üretim süreçlerinin ötesinde entegrasyon, dijital ikizler, risk yönetimi ve otonom lojistik sistemlerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Çalışmalar, AGV/AMR sistemlerinin siber-fiziksel ortamlarda etkileşimi, veri standardizasyonu, sanal gerçeklik entegrasyonu ve akıllı karar destek altyapılarının tasarımı gibi konuları ele almaktadır. Ayrıca, bu yaklaşımlar Endüstri 5.0 bağlamında insan merkezli, esnek ve öngörücü lojistik çözümlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

**Tablo 3.** Entegre ve Akıllı Lojistik Sistemler

| Yazar(lar) ve Yıl   | Çalışmanın Amacı / Yaklaşım                                                                                                                                                                                                                                                         | Temel Bulgular                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bekishev vd. (2023) | Bu çalışmada, işletmelerin iç lojistik sistemlerine AGV/AMR robotik teknolojilerinin entegrasyonuna ilişkin risk analizinin yapılması amaçlanmıştır. FMEA yöntemi kullanılarak iç ve dış risk faktörleri değerlendirilmiş, risk yönetimi algoritması önerilmiştir.                  | Çalışmanın sonucunda, önerilen FMEA tabanlı yaklaşımın hata risklerini önemli ölçüde azalttığı, süreç güvenliği, kalite ve verimlilikte artış sağladığı; ayrıca yöneticilere stratejik karar desteği sunduğu tespit edilmiştir.       |
| Sperling vd. (2023) | Bu çalışmada, AGV tabanlı malzeme akışı sistemleri için literatürden ve Alman endüstrisinden elde edilen 72 farklı yerleşim ve akış kompozisyonunu içeren kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Amaç, planlama ve kontrol algoritmalarının karşılaştırılabilirliğini artırmaktır. | Çalışmanın sonucunda, geliştirilen veri setinin planlama ve kontrol yöntemleri için standartlaştırılmış bir referans sunduğu; çok disiplinli araştırmalar arasında şeffaflık ve izlenebilirliği güçlendirdiği belirlenmiştir.         |
| Nguyen vd. (2024)   | Bu çalışmada, akıllı depo yönetimi için Unity tabanlı bir platformda EtherCAT teknolojisine dayalı çevrimiçi AGV kontrol modeli geliştirilmiştir. Model, TwinCAT HMI sunucusu ve sanal-fiziksel                                                                                     | Çalışmanın sonucunda, geliştirilen modelin gerçek zamanlı kontrol, sanal gerçeklik etkileşimi ve çevrimiçi izleme işlevlerini entegre ettiği; akıllı depo yönetimi ve dijital ticaret uygulamaları için önemli bir potansiyel sunduğu |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | sistem etkileşimini içeren dijital ikiz yapısıyla tasarlanmıştır.                                                                                                                                                                                                                                                                    | belirlenmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Li vd. (2024)               | Bu çalışmada, çok katlı esnek sipariş toplama sistemlerinde çoklu AGV'ye dayalı palet toplama çizelgelemesini optimize etmek amaçlanmıştır. Enerji tüketimi ve operasyon süresinin minimizasyonu hedeflenmiş, NSGA-III algoritmasıyla çözülmüştür.                                                                                   | Çalışmanın sonucunda, önerilen MADPSO yönteminin enerji ve zaman açısından %52–76 oranında genel iyileşme sağladığı; çok katlı sipariş toplama sistemlerinde yüksek operasyonel esneklik sunduğu tespit edilmiştir.                                                                |
| Nie vd. (2025)              | Bu çalışmada, ticari lojistik depolarında AGV paylaşım moduna dayalı otomatik yükleme platformlarının çizelgelemesini optimize etmek amaçlanmıştır. Simüle tavlama algoritması ve FCFS kuralı kullanılarak platform kaynak tahsisi modeli geliştirilmiştir.                                                                          | Çalışmanın sonucunda, önerilen modelin platform kullanım oranını %4,4 artırdığı, araç yükleme süresini 95 dakika kısalttığı ve AGV paylaşım modunun operasyonel verimliliği önemli ölçüde iyileştirdiği belirlenmiştir.                                                            |
| Yang vd. (2025)             | Bu çalışmada, insan–robot işbirliğine dayalı sipariş toplama sistemlerinde (HRC-OPS) insan ve robot etkileşim modlarının verimlilik, maliyet ve çalışan refahı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Dört işbirliği modu belirlenmiş ve bunlar çatallanma–birleşme (FJQN) ve yorgunluk–iyileşme modelleriyle analiz edilmiştir. | Çalışmanın sonucunda, SR–MP (tek robot–çoklu toplayıcı) modunun insan dostu ve verimli olduğu; SP–MR (tek toplayıcı–çoklu robot) modunun ise ekonomik ancak daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Uygun bölgeleme politikalarıyla insan yorgunluğunun azaltılabileceği gösterilmiştir. |
| Olaizola-Arregui vd. (2025) | Bu çalışmada, intralojistik sistemlerde otomatik aksaklık yönetimine (ADM) ilişkin 2018–2024 yıllarını kapsayan sistematik bir literatür incelemesi yapılmıştır. PRISMA yöntemiyle 1.406 makale analiz edilmiştir.                                                                                                                   | Çalışmanın sonucunda, çoklu aksaklık tiplerinin aynı anda yönetilmesine yönelik bütünsel yaklaşımların eksik olduğu; takviye öğrenme yöntemlerine ve AMR tabanlı çözümlere geçiş eğilimi tespit edilmiştir. Ayrıca teori–uygulama arasındaki boşluk vurgulanmıştır.                |
| Yao & Gong (2024)           | Bu çalışmada, hareketli raflı depolarda AGV tabanlı raf taşıma ve sipariş toplama süreçlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. Rafin dönüş konumunun değişimini dikkate alan matematiksel model oluşturulmuş ve hibrit akıllı algoritma uygulanmıştır.                                                                                  | Çalışmanın sonucunda, önerilen hibrit algoritmanın yürüyüş mesafesini minimize ettiği, geleneksel sezgisel yöntemlere göre daha kararlı sonuçlar verdiği ve parametre duyarlılığının doğrulandığı belirlenmiştir.                                                                  |

İlgili literatür, akıllı lojistik altyapılarında veri paylaşımı, risk yönetimi ve dijital ikiz tabanlı simülasyonların öne çıktığını göstermektedir (Bekishev vd., 2023; Nguyen vd., 2024; Nie vd., 2025). Bu çalışmalar, AGV/AMR

sistemlerinin dijitalleşme sürecinde gerçek zamanlı izleme, otonom karar alma ve kaynak paylaşımı gibi yeni boyutlar kazandığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, oluşturulan standart veri kümeleri (Sperling vd., 2023) araştırma sonuçlarının karşılaştırılabilirliğini artırmakta; sistematik incelemeler (Olaizola-Arregui vd., 2025) ise gelecekteki araştırmalara yön verecek otomatik aksaklık yönetimi ve yapay zekâ tabanlı öngörücü kontrol alanlarındaki boşlukları vurgulamaktadır. Sonuç olarak, bu tema, lojistikte dijital dönüşümün sürdürülebilirlik, güvenlik ve birlikte çalışabilirlik eksenlerinde yeniden tanımlandığını göstermektedir.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüz lojistik ve depo yönetimi ortamı, hızla dijitalleşen ve otomasyonun insanla bütünleştiği Endüstri 5.0 paradigması doğrultusunda yeniden şekillenmektedir. Özellikle sipariş toplama, malzeme taşıma ve intralojistik faaliyetler, hem operasyonel verimlilik hem de çalışan refahı açısından dönüşümün merkezinde yer almaktadır. Bu bağlamda, otomatik yönlendirmeli araçlar - AGV, insan–robot iş birliği (HRC/HMC) ve simülasyon tabanlı karar destek sistemleri, son on yılda literatürde en sık araştırılan alanlar haline gelmiştir. Bu çalışma, 2015–2025 döneminde yayımlanan 36 akademik çalışmayı sistematik biçimde inceleyerek, bu teknolojik ve insani boyutları üç tematik eksende değerlendirmiştir: (i) AGV tabanlı üretim ve taşıma sistemleri,, (ii) depo ve sipariş toplama sistemleri, (iii) entegre ve akıllı lojistik sistemler.

Birinci tema kapsamında incelenen araştırmalar (ör. Vivaldini vd., 2016; Mousavi vd., 2017a, 2017b; Liu vd., 2019; Gao vd., 2022) ağırlıklı olarak AGV çizelgeleme, görev atama ve rotalama problemlerine odaklanmıştır. Genetik algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu ve hibrit yöntemler aracılığıyla geliştirilen çok amaçlı modeller, makespan, enerji tüketimi ve araç kullanım oranlarında belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Ayrıca, Petri Net, FlexSim ve MATLAB tabanlı simülasyon uygulamaları, bu modellerin endüstriyel ortamlara aktarılabilirliğini artırmıştır. Bu çalışmalar, operasyonel verimliliğe odaklanan simülasyon tabanlı optimizasyonun, Endüstri 5.0 bağlamında daha insan-merkezli amaçlarla bütünleştirilebileceğini göstermektedir.

İkinci tema olan depo ve sipariş toplama sistemleri, insan–robot etkileşimi, cobot destekli sipariş toplama ve davranışsal faktörleri içeren modellerle zenginleşmiştir. Koreis vd. (2025), Zhang vd. (2023) ve Chen & Li (2024) gibi araştırmalar, cobot tabanlı hibrit sistemlerin manuel operasyonlara kıyasla sipariş toplama süresini yaklaşık %30 oranında azalttığını göstermektedir. Liang vd. (2023), Mejri vd. (2022) ve Cai vd. (2021) ise enerji verimliliği, rotalama ve görev atamasını bütünleştiren simülasyon modelleriyle insan faktörünün sürdürülebilir performans üzerindeki rolünü vurgulamıştır. Bu bulgular, insanın

karar verme ve adaptif etkileşim becerilerinin, otomasyonun başarısında temel belirleyici olduğunu ortaya koymakta ve Endüstri 5.0'ın insan merkezli üretim anlayışını doğrudan desteklemektedir.

Üçüncü tema altında yer alan çalışmalar (Bekishev vd., 2023; Nguyen vd., 2024; Nie vd., 2025; Olaizola-Arregui vd., 2025) lojistik sistemlerinin bütüncül entegrasyonuna ve veri temelli otonom yapılarının geliştirilmesine odaklanmıştır. EtherCAT ve Unity tabanlı dijital ikiz modelleri, gerçek zamanlı AGV kontrolü ve sanal ortam etkileşimini mümkün kılarken; FMEA tabanlı risk yönetimi ve otomatik aksaklık yönetimi (ADM) yaklaşımları, güvenlik ve sistem dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca, Sperling vd. (2023) tarafından oluşturulan standart veri setleri, gelecekteki araştırmalar için karşılaştırılabilir ve tekrarlanabilir bir temel sunmaktadır. Bu eğilim, lojistikte dijital ikiz ve yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerinin, Endüstri 5.0 sürecinde insan-teknoloji etkileşimini daha öngörülebilir ve güvenli hale getirme potansiyeline işaret etmektedir. Genel olarak, incelenen literatür üç ana dönüşüm eğilimini ortaya koymaktadır:

- Teknoloji merkezli otomasyondan insan merkezli iş birliğine geçiş,
- Simülasyon ve yapay zekâ temelli optimizasyonun karar destek aracı olarak yaygınlaşması,
- Dijital ikizler, sanal gerçeklik ve veri standardizasyonu yoluyla entegre lojistik yapılarının güçlenmesi.

Bu eğilimler, Endüstri 5.0'ın yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda sosyal, ergonomik ve sürdürülebilir bir dönüşüm süreci olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, literatürdeki mevcut araştırmaları bütüncül biçimde değerlendirerek, simülasyon tabanlı insan-robot iş birliğinin yalnızca operasyonel verimlilik değil, aynı zamanda ergonomi, bilişsel iş yükü ve sürdürülebilir süreç tasarımı açısından da stratejik bir karar destek aracı olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Böylece, Endüstri 5.0 bağlamında depo otomasyonunun insan merkezli dijital dönüşümüne yönelik teorik ve yöntemsel bir çerçeve sunmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, insan refahı, enerji verimliliği ve sistem dayanıklılığını birlikte optimize eden, gerçek saha verileriyle doğrulanmış dijital ikiz temelli simülasyon modelleri geliştirmeye odaklanması önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abdul Rahman, N. S. F., Karim, N. H., Md Hanafiah, R., Abdul Hamid, S., & Mohammed, A. (2023). Decision analysis of warehouse productivity performance indicators to enhance logistics operational efficiency. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 72(4), 962-985. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2021-0373>
- Bekishev, Y., Pisarenko, Z., & Arkadiev, V. (2023). FMEA model in risk analysis for the implementation of AGV/AMR robotic technologies into the internal supply system of enterprises. *Risks*, 11(10), 172. <https://doi.org/10.3390/risks11100172>
- Cai, J., Li, X., Liang, Y., & Ouyang, S. (2021). Collaborative optimization of storage location assignment and path planning in robotic mobile fulfillment systems. *Sustainability*, 13(10), 5644. <https://doi.org/10.3390/su13105644>
- Chen, Y., & Li, Y. (2024). Storage location assignment for improving human–robot collaborative order-picking efficiency in robotic mobile fulfillment systems. *Sustainability*, 16(5), 1742. <https://doi.org/10.3390/su16051742>
- Dharmasiri, P., Kavalchuk, I., & Akbari, M. (2020). Novel implementation of multiple automated ground vehicles traffic real time control algorithm for warehouse operations: Dijkstra approach. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 396-405. <http://doi.org/10.31387/oscm0430279>
- Duan, L., Liu, Y., Li, H., Park, K. H., & Cao, K. (2022). Nondominated Sorting Differential Evolution Algorithm to Solve the Biobjective Multi-AGV Routing Problem in Hazardous Chemicals Warehouse. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 3785039. <https://doi.org/10.1155/2022/3785039>
- Gao, J., Zheng, X., Gao, F., Tong, X., & Han, Q. (2022). Heterogeneous multitype fleet green vehicle path planning of automated guided vehicle with time windows in flexible manufacturing system. *Machines*, 10(3), 197. <https://doi.org/10.3390/machines10030197>
- Gehlhoff, F., Jobs, N., & Henkel, V. (2025). Agent-Based Control of Interaction Areas in Intralogistics: Concept, Implementation and Simulation. *Logistics*, 9(2), 52. <https://doi.org/10.3390/logistics9020052>
- He, X., & Prabhu, V. V. (2022). Design and analysis of AGV-based cross-docking operations using analytical models. *Production & Manufacturing Research*, 10(1), 428-449. <https://doi.org/10.1080/21693277.2022.2083714>

- He, X., Quan, H., Lin, W., Deng, W., & Tan, Z. (2021). AGV scheduling optimization for medical waste sorting system. *Scientific Programming*, 2021(1), 4313749. <https://doi.org/10.1155/2021/4313749>
- Jiang, Z., Zhang, X., & Wang, P. (2023). Grid-map-based path planning and task assignment for multi-type AGVs in a distribution warehouse. *Mathematics*, 11(13), 2802. <https://doi.org/10.3390/math11132802>
- Koreis, J., Loske, D., & Klumpp, M. (2025). Together, we travel: empirical insights on human-robot collaborative order picking for retail warehousing. *The International Journal of Logistics Management*, 36(1), 1-20. <https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2023-0127>
- Krishnamoorthy, P., Satheesh, N., Sudha, D., Sengan, S., Alharbi, M., Pustokhin, D. A., ... & Setiawan, R. (2023). Effective scheduling of multi-load automated guided vehicle in spinning mill: A case study. *Ieee Access*, 11, 9389-9402. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236843>
- Li, J., Chen, Y., Zhou, L., Dong, R., Yin, W., Huang, W., & Zhang, F. (2024). Multi-AGV-Driven Pallet-Picking Scheduling Optimization (MADPSO): A Method for Flexible Multi-Level Picking Systems. *Applied Sciences*, 14(4), 1618. <https://doi.org/10.3390/app14041618>
- Liang, K., Zhou, L., Yang, J., Liu, H., Li, Y., Jing, F., ... & Yang, J. (2023). Research on a dynamic task update assignment strategy based on a “parts to picker” picking system. *Mathematics*, 11(7), 1684. <https://doi.org/10.3390/math11071684>
- Liu, Y., Ji, S., Su, Z., & Guo, D. (2019). Multi-objective AGV scheduling in an automatic sorting system of an unmanned (intelligent) warehouse by using two adaptive genetic algorithms and a multi-adaptive genetic algorithm. *PloS one*, 14(12), e0226161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226161>
- Lolli, F., Lodi, F., Giberti, C., Coruzzolo, A. M., & Marinello, S. (2022). Order picking systems: a queue model for dimensioning the storage capacity, the crew of pickers, and the AGV Fleet. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 6318659. <https://doi.org/10.1155/2022/6318659>
- López, J., Zalama, E., & Gómez-García-Bermejo, J. (2022). A simulation and control framework for AGV based transport systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 116, 102430. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102430>
- Lorson, F., Fügener, A., & Hübner, A. (2023). New team mates in the warehouse: Human interactions with automated and robotized

- systems. *Iise Transactions*, 55(5), 536-553.  
<https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2072545>
- Meißner, M., & Massalski, L. (2020). Modeling the electrical power and energy consumption of automated guided vehicles to improve the energy efficiency of production systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110(1), 481-498.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-020-05796-8>
- Mejri, E., Kelouwani, S., Dubé, Y., Henao, N., & Agbossou, K. (2022). Energy efficient order picking routing for a pick support automated guided vehicle (Ps-AGV). *IEEE Access*, 10, 108832-108847.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3212797>
- Mocan, A., Gaureanu, A., Szabó, G., & Mrugalska, B. (2022). Arguments for emerging technologies applications to improve manufacturing warehouse ergonomics. In *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises: Indicators, Models and Assessment for Industry 5.0* (pp. 115-164). Singapore: Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7365-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7365-8_5)
- Mousavi, M., Yap, H. J., Musa, S. N., & Dawal, S. Z. M. (2017b). A fuzzy hybrid GA-PSO algorithm for multi-objective AGV scheduling in FMS. *a a, I*(1), 1.
- Mousavi, M., Yap, H. J., Musa, S. N., Tahriri, F., & Md Dawal, S. Z. (2017a). Multi-objective AGV scheduling in an FMS using a hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization. *PloS one*, 12(3), e0169817.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169817>
- Nguyen, H., Nguyen, T. P., & Ngo, H. Q. T. (2024). Using EtherCAT technology to launch online automated guided vehicle manipulation with unity-based platform for smart warehouse management. *IET Control Theory & Applications*, 18(2), 229-243.  
<https://doi.org/10.1049/cth2.12570>
- Nie, X., Qin, L., Peng, Z., & Zhou, C. (2025). Coordinated Scheduling of Automated Loading Platforms in Commercial Logistics. *Journal of Advanced Transportation*, 2025(1), 1463346.  
<https://doi.org/10.1155/atr/1463346>
- Olaizola-Arregui, I., Mediavilla, M., & Onieva, E. (2025). A proposal for future research agenda on automated disruption management in intralogistic systems. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3578757>
- Sperling, M., Schulz, B., Enke, C., Giebels, D., & Furmans, K. (2023). Classified AGV Material Flow and Layout Data Set for Multidisciplinary

- Investigation. *IEEE Access*, 11, 94992-95007.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3308216>
- Statista (2025). Forecasted global warehouse automation market share in 2025, by technology. Messe Frankfurt; LogisticsIQ.  
<https://www.statista.com/statistics/1147839/global-warehouse-automation-market-share-technology/> adresinden alındı.
- Tang, H., Cheng, X., Jiang, W., & Chen, S. (2021). Research on equipment configuration optimization of AGV unmanned warehouse. *IEEE access*, 9, 47946-47959. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066622>
- Tubis, A. A., Poturaj, H., & Smok, A. (2024). Interaction between a human and an AGV system in a shared workspace—A literature review Identifying Research Areas. *Sustainability*, 16(3), 974.  
<https://doi.org/10.3390/su16030974>
- Tutam, M. (2024). Optimizing order-picking warehouse designs using collaborative robots. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(1), 203-215.  
<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.974331>
- Vivaldini, K., Rocha, L. F., Martarelli, N. J., Becker, M., & Moreira, A. P. (2016). Integrated tasks assignment and routing for the estimation of the optimal number of AGVS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1), 719-736.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-7343-4>
- Xie, L., Li, H., & Luttmann, L. (2023). Formulating and solving integrated order batching and routing in multi-depot AGV-assisted mixed-shelves warehouses. *European Journal of Operational Research*, 307(2), 713-730. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.08.047>
- Xing, L., Liu, Y., Li, H., Wu, C. C., Lin, W. C., & Chen, X. (2020). A novel tabu search algorithm for multi-AGV routing problem. *Mathematics*, 8(2), 279. <https://doi.org/10.3390/math8020279>
- Xu, R., Feng, H., Liu, J., & Hong, W. (2022). Dynamic spare point application based coordination strategy for multi-AGV systems in a WIP warehouse environment. *IEEE Access*, 10, 80249-80263.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195173>
- Yang, P., Song, S., Huang, L., Gong, Y., & Shen, Z. J. M. (2025). Deploying pickers and robots in cobot-based collaborative order picking systems. *IIE Transactions*, 1-20.  
<https://doi.org/10.1080/24725854.2025.2501036>
- Yao, W., & Gong, G. (2024). Design and implementation of optimal algorithm for shelves handling based on the change of return position of movable

shelves. *Engineering Reports*, 6(5), e12767.  
<https://doi.org/10.1002/eng2.12767>

Yu, C., Liao, W., & Zu, L. (2023). Dynamic scheduling optimization method for multi-AGV-based intelligent warehouse considering bidirectional channel. *Systems*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.3390/systems12010009>

Zhang, M., Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2023). Ergonomic and economic evaluation of a collaborative hybrid order picking system. *International Journal of Production Economics*, 258, 108774. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108774>

## **6. Bölüm**

### **Akıllı Depolar**

**Öğr. Gör. Sude DIŞKAYA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>İstanbul Esenyurt Üniversitesi, ORCID: 0009-0003-8816-4236

## Giriş

Depolar, açık veya kapalı alanlarda ürünlerin istiflendiği, gümrüklü veya gümrüksüz şekillerde ve gerçek veya tüzel kişilere ait olabilen lojistik ve tedarik zincirinin temel yapı taşlarından birisidir. Depolar, uzun yıllardır işletmelerin süreçlerini destekleyen birimler olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. Başlangıçta yalnızca ürünlerin saklandığı ve stoklandığı yerler olarak görülen depolar, günümüzde çok daha karmaşık ve stratejik operasyonların yürütüldüğü merkezler haline gelmiştir (Özceylan ve Tanyaş, 2021; Tanyaş ve Düzgün, 2022). Bu dönüşüm, depoların stok tutma işlevine ek olarak, sipariş yönetimi, ürün sınıflandırılması, paketleme, ambalajlama ve sevkiyata hazırlama gibi operasyonel süreçlerin de yürütüldüğü merkezler haline gelmesini sağlamıştır.

E-ticaretin hızlı gelişimi, lojistik hizmetlerde verimlilik gereksinimini ön plana çıkarmış; bu durum, işletmeleri rekabet avantajı elde edebilmek için teknolojiyi daha etkin kullanmaya yöneltmiştir. Geleneksel depolar, artan talebe yanıt vermekte zorlanırken, gelişmiş teknolojilerle donatılmış "akıllı depo" sistemleri, depoların hem kapasitesini hem de verimliliğini artıran etkili bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Zhen ve Li, 2022: 31). Akıllı depolar, teknolojinin sunduğu olanaklar sayesinde işletmelere daha hızlı yanıt verebilme, müşteri memnuniyetini artırma ve operasyonel verimliliği artırma imkânı sağlamaktadır (Chen, v.d., 2020; Qui, v.d., 2025).

Günümüzde depo operasyonlarında özellikle endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Bu teknolojilerden en yaygın kullanılanları depo yönetim sistemleri (warehouse management system - WMS), barkodlar, RFID etiketleri, nesnelerin interneti, yapay zekâ, otomatik yönlendirmeli araçlar, robotik toplama sistemleri ve depo droneleridir. Bu araçlar, depoların operasyonel süreçlerini otomatikleştirerek hem maliyet akışında hem de stok yönetiminde şeffaflık sağlamaktadır.

Depoların bugünkü yapısına ulaşmasını sağlayan gelişim sürecinin incelenmesi, depo yönetim anlayışının ve akıllı depoların önemini anlamaya yardımcı olmaktadır. Teknolojik yeniliklerle desteklenen akıllı depolar, işletmelere hem operasyonel verimlilik hem de sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu doğrultuda, izleyen bölümlerde akıllı depo kavramı kapsamlı biçimde ele alınacak; kullanılan teknolojiler, sundukları avantajlar, karşılaşılan zorluklar ve sürdürülebilirlik boyutu ayrıntılı olarak değerlendirilecektir.

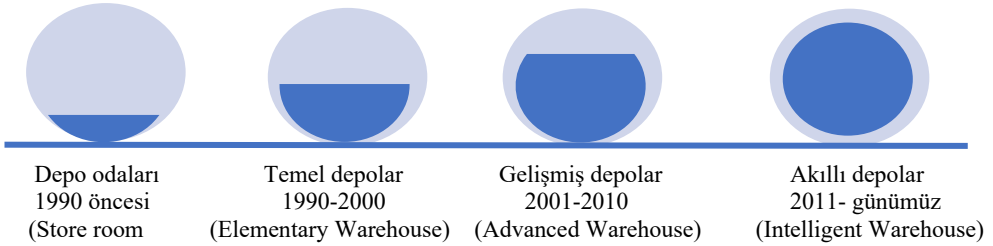
## 1. Depo Kavramının Tarihsel Gelişimi

Depolar, insanlık tarihinin erken dönemlerinde, toplumların artan üretim fazlasını saklama ve koruma ihtiyacından doğmuştur. Başlangıçta tarımsal ürünler, el sanatları ve sınırlı ticari malların depolanması amacıyla kullanılan bu yapılar, ilkel ve basit formlarda

inşa edilmiştir. Üretim ve tüketimin sınırlı olduğu bu dönemlerde depolar, genellikle yerel ihtiyaçlara hizmet etmiştir (Peña-Chocarro, v.d., 2015: 1).

Sanayi devrimi ile birlikte üretim hacminin artması, ürün çeşitliliğinin çoğalması, depoların yapısını ve işlevini dönüştürmüştür. Bu dönemde depolar, ilk çağlarda ürünlerin saklandığı veya korunduğu yerler olmaktan çıkarak, üretim, dağıtım ve tedarik zincirinin temel aktörlerinden biri haline gelmiştir. Sanayi üretiminin ve demir yolu taşımacılığının gelişimi ile birlikte büyük ölçekli depo ve dağıtım merkezleri kurulmuş, bunlar toptan ticaretin merkezi haline gelmiştir (Eaton, 1982: 17).

**Görsel 1.** Depoların Tarihsel Gelişimi



**Kaynak:** Bu şekil, Umar, Narkhede ve Jain'in (2021) çalışmasında sunulan kavramsal çerçeveden yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

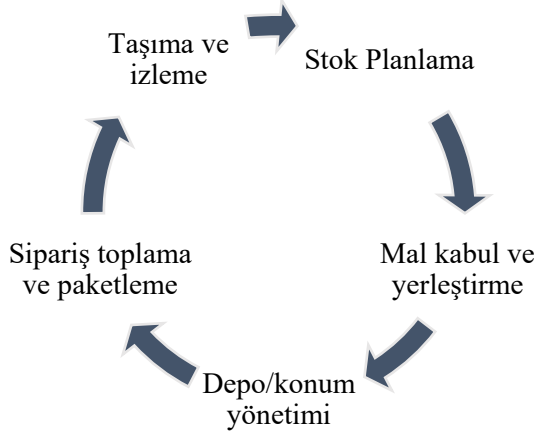
Görsel 1'de depoların tarihsel gelişimi yer almaktadır. 1990 öncesinde depolama süreçleri büyük ölçüde manuel olarak yürütülmekteydi. Bu operasyon süreci genellikle düzensiz bir yapıya sahipti. 1990-2000 yılları arasında depo süreçlerinde karmaşıklıkları azaltmak ve verimliliği artırmak amacıyla Depo Yönetim Sistemleri (WMS, Warehouse Management System) kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeniliğe ek olarak paletler ve forkliftlerin de malzeme elleçleme süreçlerinde kullanılmasıyla dijital otomasyona geçiş hızlanmıştır (Kumar, v.d., 2021: 3486).

2001-2010 yılları arasında, teknolojinin gelişimi ile birlikte depolarda kullanılan makineler daha da işlevsel hâle gelmiştir. Bu durum süreçlerin hızını ve doğruluğunu artırmıştır. Özellikle robot teknolojilerinin kullanımı, ürün toplama, paketleme ve envanter kontrolü gibi süreçlerde verimliliği artırmıştır (Dhaliwal, 2020). 2011 yılından itibaren dijitalleşme tabanlı teknolojilerin yaygınlaşmasıyla Endüstri 4.0 olara adlandırılan yeni bir sanayi devrimi süreci başlamıştır. Bu dönemde depolarda yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT), otomatik toplama-geri alma gibi sistemler kullanılmaya başlanmıştır (Aravindaraj ve Chinna, 2022). Bu dönüşüm, lojistik süreçlerin dijitalleşmesini ve daha verimli hâle gelmesini sağlamış ve "akıllı depo" kavramının gelişmesinde etkili olmuştur.

### 1.1. Depoların Genel Özellikleri

Depolar, işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerinde köprü görevi görmektedir. Modern depolar, işletmelere katma değer üreten merkezlerdir. Bu kapsamda söz konusu merkezlerde profesyonel bir bakış açısı ve sistemli bir çalışma olması gerekmektedir (Erdal v.d., 2010: 16).

**Görsel 2.** Temel Depo Yönetim Süreçleri



**Kaynak:** (Žunić, v.d., 2018: 1).

Depo operasyonları tedarik zincirinin ihtiyaçlarına göre şekillense de, çoğu depoda benzer temel işlemler yürütülmektedir (Görsel 2). Bu işlemler; ürünlerin **mal kabulüyle** başlar; gelen ürünler kontrol edilip sisteme kaydedildikten sonra uygun **raflara yerleştirilir**. Daha sonra müşteri taleplerine göre **sipariş toplama** süreci başlar; gerekli ürünler doğru miktarda ve zamanda raflardan alınır. Toplanan ürünler, siparişin türüne göre **paketlenir, ambalajlanır, etiketlenir ve kolilenir**. Bu aşamada, gerekiyorsa set hazırlama, promosyon ekleme veya yeniden paketleme gibi **katma değerli işlemler** de yapılır. Sipariş tamamlandığında sistemde işlenir ve **sevkiyat hazırlığı** aşamasına geçilir; ürünler bir araya getirilerek araçlara yüklenmeye hazır hale getirilir. Sevkiyatın ardından, boşalan rafların **yeniden ikmal edilmesi** sağlanır. Bu sayede depo düzeni ve sürekliliği korunur (Rushton, v.d., 2010: 230-231).

Bir deponun kurulum aşamasında ne depolanacak, neden depolanacak, nerede depolanacak, nasıl depolanacak, depo süresi ve kullanım sıklığı ne kadar olacak, depodan kimler hizmet alacak gibi 5N1K tekniğine dayalı temel soruların cevaplandırılması gerekmektedir. Ardından yatırım işlemlerine başlanmasının daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir (Erdal v.d., 2010: 16). Depoların konumu, teslimat sürelerini belirlemekte ve toplam ürün maliyetini etkilemektedir. Stratejik olarak

doğru konumlandırılmış bir depo hem taşıma maliyetlerini azaltabilir hem de müşteri taleplerine hızlı yanıt sağlayarak rekabet avantajı yaratabilir (Singh, v.d., 2018: 343).

Bir depo yeri belirlenirken;

- bulunduğu coğrafi alan,
- tesisin boyutu,
- yapılacak operasyonların özellikleri,
- açık/kapalı depolama alanları,
- araç park yerleri,
- rampa alanları,
- yükleme/boşaltma sahaları,
- malzeme elleçleme ekipmanları,
- ıslıklandırma, havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemler
- yangın ikaz ve söndürme sistemleri gibi sistemler eş zamanlı değerlendirilmektedir (Erdal v.d., 2010: 19).

Uygun konum belirlendikten sonra depo tasarım süreci başlar. Depo tasarımında, kullanılacak ekipmanların seçimi, koridor genişlikleri, dönüş mesafeleri ve deponun fiziksel boyutları gibi unsurlar ön plana çıkar (Toktaş-Palut ve Okçuoğlu, 2019: 16).

Günümüzde tedarik zinciri faaliyetlerinin çevresel etkileri, literatürde giderek daha fazla ele alınan bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda, çevreye duyarlı, daha az emisyonu neden olan "yeşil depolar" ve yeşil depo yönetimi kavramları öne çıkmaktadır. Yeşil depolar, geleneksel depo yönetimine kıyasla enerji tüketimi, karbon emisyonu, atık yönetimi ve doğal kaynakların kullanımı gibi konularda daha fazla sürdürülebilir uygulamalara odaklanmaktadır. Depo içi operasyonlarda enerji verimliliğini artırmak, malzeme israfını azaltmak ve çevre dostu teknolojiler kullanmak temel hedefleri arasında yer almaktadır (Chen, v.d., 2016: 894).

## 1.2. Depo Türleri

Depolar taşıdıkları özelliklere göre farklılık göstermektedir. Literatürde depolarla ilgili pek çok sınıflandırma mevcuttur. Depo türleri içerisinde; korunma derecesine göre açık hava depoları ve kapalı depolar, ürünlerin türlerine göre ham madde, yarı mamul ve tamamlanmış ürün depoları (gıda depoları, soğuk hava depoları, tehlikeli madde depoları), mülkiyet biçimine göre özel depolar, kamuya ait depolar, finansal kiralama (leasing) depolar yer almaktadır (Acar ve Çakmak, 2018: 61). Uluslararası depolama faaliyetlerinde ise gümrüklerden gelen eşyaların muhafaza edildiği ve gerekli işlemlerinin yapıldığı antrepolar aklı gelmektedir (Polat, 2020: 189). Bu depolar uluslararası ticarete konu olan ürünlerin geçici olarak saklandığı ve gümrük işlemlerinin yürütüldüğü yerlerdir (Boz, v.d., 2022: 159).

Depolar bulundukları konuma göre bölgesel veya merkezi depo olma özelliği taşıyabilir, dağıtım veya saklama amaçları ile kullanılabilir. Merkezi depolar genellikle stratejik olarak seçilen bir lokasyonda bulunur ve genellikle yüksek hacimli ürün giriş çıkışlarına sahiptir. Bölgesel depolar da belirli bir bölgeye hizmet veren ve genellikle daha küçük ölçekli depolardır (Tanyaş ve Baskak, 2012). Bu yapılanmanın bir üst düzeyinde ise lojistik köy ve merkezler yer almaktadır. Her ne kadar aralarında bazı yapısal ve işlevsel farklılıklar bulunsun da her iki yapı da temelde aynı amaca hizmet eder. Lojistik köy ve merkezler, birden fazla taşıma modunun bir araya geldiği, birden fazla bölgeye hizmet sunan, konsolidasyon, depolama ve dağıtım faaliyetlerinin entegre biçimde yürütüldüğü yerlerdir. Bu tür gelişmiş alanlarda, akıllı depo sistemlerinin kullanımı, depo operasyonlarının daha hızlı, verimli ve düzenli bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Kaya ve Dışkaya, 2024: 123).

Depolar, tedarik zincirinin verimliliğini artıran işlevler de üstlenir. Örneğin talep dalgalanmalarını dengeleyerek stokları daha öngörülebilir hale getirir, tedarik sürelerini kısaltır ve böylece üretim ile dağıtım süreçlerinin daha verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar. Bu işlevleri sayesinde işletmeler tam zamanında üretim (just in time - JIT) stratejisini uygulayarak stok maliyetlerini azaltabilirler (Horta, v.d., 2016: 101). Tam zamanında üretim yaklaşımını desteklemek amacıyla çapraz sevkiyat (cross-dock) adı verilen depolar kullanılmaktadır. Bu depolarda ürünler uzun süre bekletilmeden ayrıştırılır, konsolide edilir ve doğrudan dağıtım noktalarına sevki sağlanır. Böylece depolama süresi en aza indirilir, stok maliyetleri düşürülür ve tedarik zinciri boyunca ürün akışı hızlanır (Tadić, v.d., 2023: 725).

Depolar, otomasyon düzeyine göre de sınıflandırılabilir. Bu kapsamda depolar, geleneksel depolar ve yüksek teknoloji kullanılan depolar olarak ikiye ayrılmaktadır. Yüksek teknoloji kullanılan depolar literatürde "akıllı depolar" olarak ifade edilmektedir. Akıllı depolarda geleneksel depolara kıyasla, insan faktörü en aza indirgenmekte ve kullanılan teknolojiler sayesinde hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir (Erdal, v.d., 2010: 15). Bir sonraki bölümde akıllı depolar kavramı daha detaylı olarak ele alınacak; bu depolarda kullanılan teknolojiler, sağladığı avantajlar, karşılaşılan zorluklar ve sürdürülebilirlik perspektifi çerçevesinde değerlendirilmeler yapılacaktır.

## **2. Akıllı Depolar**

Bir depoda temel olarak iki ana faaliyet yürütülmektedir. İlk malzemelerin depolanması (storage); ikincisi ise malzemelerin farklı noktalara taşınmasını ifade eden elleçleme (material handling) faaliyetleridir. Elleçleme süreci, ürünlerin depoya girişi, boşaltılması, uygun raflara yerleştirilmesi, müşterilerin siparişleri alındığında tekrardan toplanması ve siparişe uygun şekilde paketlenmesi,

ambalajlanması ve son aşamada ise taşıma aracına yüklenmesi işlemlerini kapsamaktadır (Ertek, 2012: 5-6). Bu faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi, günümüzde depoların yalnızca operasyonel alanlar olmaktan çıkarak işletmeler için yeni bir rekabet alanı haline gelmesini sağlamıştır. Bu noktada depolama faaliyetlerinin verimliliğini artıran akıllı depoların ortaya çıkmasına zemin hazırlanmıştır (Erdal, v.d., 2010: 2).

Geleneksel depolarda ürün yerleştirme, toplama, teslimat ve kayıt işlemleri çoğu zaman manuel olarak gerçekleştirildiği için zaman alıcıdır ve insan kaynağının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Bu durum hataların artmasına, süreçlerde aksaklıkların yaşanmasına ve kaynak israfına neden olmaktadır. Özellikle büyük ölçekli depolarda, manuel süreçlerin sınırlıkları daha belirgin hale gelmekte ve işletmelerin rekabet avantajlarını olumsuz etkileyebilmektedir (Liu, v.d., 2018: 1). Depoya gelen aracın boşaltılmasından, ürünlerin rafa yerleştirilmesine, ardından siparişlerin hazırlanması ve tekrar araca yüklenmesine kadar pek çok süreçte risk unsurları bulunmaktadır. Bir depo içerisindeki riskleri ise temel olarak 4 açıdan değerlendirebilmek mümkündür: Bu riskler; iklim riskleri, fiziksel riskler, kimyasal riskler ve biyolojik risklerdir.

**İklim riskleri**, depo içerisindeki sıcaklık, ışık ve nem değişikliğinden kaynaklanan riskleri ifade eder. **Fiziksel riskler**, depo süreçlerinde yaşanabilecek basınç, aşınma veya taşımaya bağlı kırılma, titreşim gibi problemlerden kaynaklanabilecek riskleri kapsar. **Kimyasal riskler**, ürünlerin sevki veya depolanması sırasında difüzyona uğramaları, bulundukları ortama uyum sağlayamayıp kimyasal içeriklerinin değişmesi durumlarını kapsar. Son olarak **biyolojik riskler**, mikro organizma, böcekler, kemirgenler gibi zararlı canlıların depo içerisinde oluşturduğu tehditleri ifade etmektedir (Erdal v.d., 2010: 135). Bu risklere karşı akıllı depolar, otomatik toplama sistemleri, robotik taşıma araçları, sensörler ve yapay zekâ destekli süreçlerle çözümler sunar. Böylece operasyonel verimlilik artar, maliyetler ve stok yönetiminde hatalar azalır ve hızlı, esnek, müşteri odaklı bir hizmetin sunulması sağlanır (He v.d., 2018: 6956).

E-ticaretin yaygınlaşması ile birlikte artan sipariş hacimleri, müşteri taleplerine daha hızlı verme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda e-ticaret işletmeleri de geleneksel depolama sistemlerinin ötesine geçerek akıllı depolama sistemlerine yönelmişlerdir (Kembro ve Norrman, 2025). Otomasyon sistemleri, sensör teknolojileri, robotik toplama araçları ve yapay zekâ tabanlı stok yönetimi gibi uygulamalar sayesinde e-ticaret operasyonlarının etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. E-ticaretin gelişimi akıllı depo teknolojilerinin yaygınlaşmasını teşvik ederken, bu teknolojilerin sağladığı hız, esneklik ve maliyet avantajları da e-ticaretin büyüme dinamiklerini desteklemekte ve işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır (Risberg v.d., 2023). Dolayısıyla, e-ticaret ve akıllı depolar arasında karşılıklı besleyici bir ilişki bulunduğu söylenebilir; biri diğerinin gelişimini hızlandırmakta ve işletmelerin lojistik altyapısında bütünleşik bir dönüşüm yaratmaktadır.

### **3. Akıllı Depolarda Kullanılan Teknolojiler**

Endüstri 4.0'ın gelişimi ile üretim süreçlerinin dijitalleşmesi, bu süreçleri destekleyecek akıllı depoların tasarlanmasına yönelik bir talebi ortaya çıkarmıştır (Tubis ve Rohman, 2023: 1). Son yıllarda birçok şirket, akıllı depo uygulamalarını benimseyerek, iş süreçlerini geliştirmeye başlamıştır. Depolarda internete bağlı robotlar kullanılarak, sipariş toplama, ambalaj ve etiketleme süreçleri daha hızlı ve etkin bir şekilde yürütülmeye başlanmıştır. Bu sayede verimlilik artarken maliyetlerde de tasarruf sağlanmıştır (Kamali, 2019: 12).

Depo operasyonlarında süreçleri kolaylaştırmak için birçok yazılım ve program kullanılmaktadır. En yaygın olanlardan biri, stok takibi, sipariş yönetimi, mal kabul ve sevkiyat süreçlerini dijital olarak yöneten depo yönetim sistemidir (Warehouse Management System - WMS). Bunun yanı sıra, Endüstri 4.0 teknolojileri de depolarda sıkça kullanılmaktadır. Bu teknolojiler arasında barkod sistemleri, RFID etiketleri, nesnelerin interneti, yapay zekâ, otomatik toplama ve geri alma sistemleri sistemleri, otomatik yönlendirmeli araçlar ve dronelar bulunmaktadır. Bu araçlar, depo içindeki mal akışını daha verimli hale getirir ve stok yönetimini destekler. Çalışmanın sonraki bölümünde akıllı depolarda kullanılan başlıca teknolojiler detaylı olarak ele alınacaktır.

#### **3.1. Depo Yönetim Sistemleri (WMS - Warehouse Management System)**

Geçmişte depo yönetim işlemleri genellikle manuel olarak yürütülmekteydi. İşlemler kağıt üzerinde tutulmaktaydı. Bu yöntemler işletmelerde hata oranlarını artırmakta, zaman kaybına ve verimsizliğe yol açmaktaydı (Andiyappillai, 2020: 36). Günümüzde dijital ticaret hacmindeki artışın belirginleşmesiyle birlikte sipariş sayıları ve lojistik operasyonların karmaşıklığı artmıştır. Bu durum işletmelerde Depo Yönetim Sistemleri (Warehouse Management System - WMS) çözümlerine olan ihtiyacın gereklilik haline gelmesine neden olmuştur (Bashar, 2024: 7005). WMS, depo içerisinde depolanan ürünlerin operasyon akışına göre en verimli ve doğru biçimde kullanılmasını sağlayan bir yazılımdır (Tosun ve Zaim, 2018: 29). Bu sistemler sayesinde depo içerisindeki hareketler, barkodlar, RFID teknolojileri ve kablosuz yerel ağlar (WLAN) kullanılarak gerçek zamanlı izlenebilmektedir (Subramanya ve Rangaswamy, 2012: 12).

Karmaşık bir WMS kullanıldığında, birden fazla depoda hareketlerin optimizasyonu sağlanabilir. Her bir ürünün; nerede bulunduğu, nereye gideceği ve hangi amaçla yönlendirildiği bilgilere erişilebilir. Bu sistemler, lojistik ve tedarik zincirinde katma değerli planlama gibi ek avantajlar da sağlayarak, depo operasyonlarının bütünsel olarak daha verimli yönetilmesine katkıda bulunur (Subramanya ve Rangaswamy, 2012: 15). Ayrıca karmaşık bir WMS sürecinde anahtar performans göstergeleri (KPI- Key performance indicator) olarak ifade edilen nicel göstergeler kullanılarak hedeflere ne ölçüde ulaşıldığı incelenebilmektedir (Bashar, 2024: 7009).

**3.2. Barkod Sistemi:** Bir depo içerisindeki ürünlerin unutulmaması, kaybedilmemesi için sisteme kaydının ve takibinin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda barkod sistemi öne çıkmaktadır. Doğrusal barkod, bir ürüne ait kimlik bilgileri olarak düşünülebilir. Standart bir barkodun içerdiği bilgilerin en önemli avantajı, ürüne ait çeşitli bilgileri de içeriyor olmasıdır. Bu sayede depo çalışanı ürün ile ilgili bilgilere hızlıca erişebilmektedir (Tosun ve Zaim, 2018: 37).

**Görsel 3.** Barkod Görseli



**Kaynak:** Acartürk, (2012).

Barkodlar, genellikle ürünün ambalajında yer alan, farklı kalınlıklardaki çizgi ve boşluklardan oluşan dik çizgilerdir (Görsel 3). Bu çizgilerin altında sekiz veya on üç haneli rakamlardan oluşan bir dizi yer alır. Dizideki ilk üç rakam **ülke kodunu**, sonraki dört rakam **firmanın kodunu**, ardından gelen beş rakam ise **ürünün kodunu** ifade etmektedir. On üçüncü sayı ise **kontrol sayısı** olup başta yazan on iki sayının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılır (Polat, 2020: 36).

**Görsel 4.** Karekod Görseli



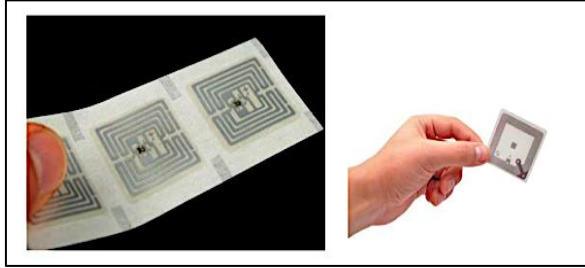
**Kaynak:** Özcan, (2019).

Doğrusal barkod teknolojisi, ürünlerin tanımlanması ve takibi açısından uzun yıllardır kullanılmakta olup sınırlı bilgi taşımaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesi ile birlikte iki boyutlu (2D) barkodlar geliştirilmiştir (Görsel 4). İki boyutlu barkodlar, doğrusal barkodların aksine hem yatay hem de dikey ekseninde veri toplayabildiği için daha fazla veri sunabilmektedir. Karekod olarak da ifade edilen 2D barkod teknolojisi sayesinde kullanıcılar ürün kataloğunda gördüğü bir karekodu cep telefonu ile tarayarak ürün ile alakalı bir siteye yönlendirilebilmekte ve ürünle ilgili daha fazla bilgi alabilmektedir (Acartürk, 2012; Özcan, 2019).

### 3.3. Radyo Frekans Tanıma Sistemleri (Radio Frequency Identification Systems - RFID)

Radyo Frekans Tanıma Sistemleri (Radio Frequency Identification Systems-RFID), ürünlerin sisteme doğru ve hızlı bir şekilde girişini sağlamak ve depo içerisindeki konumunu belirlemek için radyo dalgaları ve optik okuyucuların kullanıldığı bir sistemdir (Erdal v.d., 2010: 58).

**Görsel 5. RFID Etiketi**



**Kaynak:** (Ertek, 2012: 8).

RFID sistemleri, ürünlerin üzerine yerleştirilen etiketler, bu etiketleri okuyan okuyucular ve verilerin yönetildiği yazılımlardan oluşan bütünlük bir sistem mantığı ile çalışmaktadır (Görsel 5). Depo personeli, el terminali aracılığıyla RFID etiketi okuttuğunda, ilgili ürünün özellikleri, yerleştirilmesi gereken raf bilgisi ve mevcut stok miktarı gibi ayrıntılı bilgilere erişebilmektedir (Lehpamer, 2012: 1).

**Görsel 6. El Terminali Kullanan Depo Personeli**



**Kaynak:** (Verzani ve Sandrini, 2022).

Görsel 6'da el terminali kullanan bir depo personeli yer almaktadır. Personel, ürünlerin veya kolilerin üzerinde yer alan barkodları el terminali ile okutarak stok giriş-çıkış işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. RFID teknolojisinin depolarda

sağladığı en önemli katkılardan biri, tedarik zincirinde izlenebilirliği güçlendirmesidir. Ürünlerin depoya girişinden sevkiyatına kadar hem gerçek zamanlı hem de geçmişe yönelik tüm hareketlerin kayıt altına alınabilmesi, stok yönetiminde şeffaflığı artırmakta, olası kayıp, hata ve hırsızlık gibi risklerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Lehpamer, 2012: 1; Sodiya, v.d., 2024). Literatürde yapılan çalışmalar, RFID sistemlerin sipariş hazırlama süreçlerini hızlandırdığını, envanter doğruluğunu artırdığını ve müşteri taleplerine daha etkin cevap verilmesine olanak sağladığını göstermektedir (Mo ve Li, 2019; Shahzad ve Liu, 2015; Zhou, v.d., 2017).

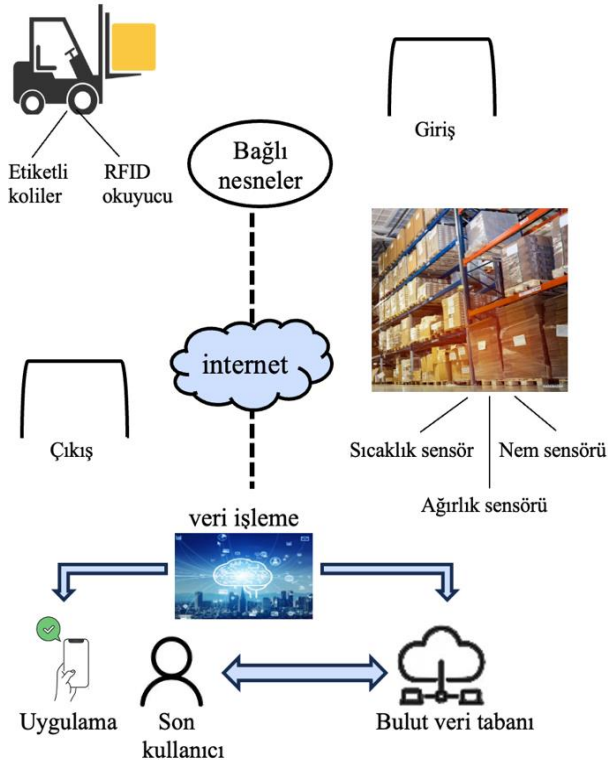
RFID sistemler, depo operasyonları içerisinde diğer teknolojiler ile entegre çalışarak depo operasyonlarının otomasyon seviyesini yükseltmekte ve karar alma süreçlerini desteklemektedir. Ürünler manuel kayıtlara gerek kalmadan, RFID etiketler sayesinde anlık olarak takip edilebilmektedir. Bu durum kayıp ve kaynak israfı azaltmakta ve işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

### **3.4. Nesnelerin interneti (Internet of Things- IoT)**

Nesnelerin interneti, (IoT), sensörler, ağlar ve yazılımlar aracılığıyla fiziksel nesnelerle ilgili verilerin toplanmasını, paylaşılmasını ve analiz edilmesini sağlayan bir teknolojidir. IoT, bilgisayar ve telefon gibi cihazların yanı sıra, makineleri, depolardaki rafları, enerji sistemlerini ve çevresel ölçüm cihazları gibi "nesneleri" de internete entegre ederek, anlık takip ve kontrol imkânı sunmaktadır (Qiu, v.d., 2015: 6). IoT hedefleri arasında, makineden-makineye (machine to machine- M2M) ve insandan-makineye (human to machine-H2M) etkileşim yoluyla mal, hizmet ve ilgili bilgilerin paylaşımını kolaylaştırmak için ortak bir ağ altyapısı oluşturmak yer almaktadır (Jarašūnienė v.d., 2023).

IoT teknolojileri, sağlık, üretim, akıllı şehir altyapısı, ulaştırma ve depo yönetimi gibi pek çok alanda maliyetleri düşürmek, verimliliği artırmak ve karar alma süreçlerini iyileştirmek amaçlarıyla kullanılmaktadır. Depo yönetiminde kullanılan IoT teknolojileri sayesinde, bir ürünün depoya girişinden çıkışına kadar tüm hareketleri izlenebilmekte; ürünün bulunduğu raf konumu, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullar sürekli olarak takip edilmekte ve gerektiğinde otomatik uyarılar oluşturulabilmektedir (Affia ve Amer, 2022: 106). IoT'un sağladığı bir diğer avantaj, sürekli veri akışı sayesinde bakım planlamalarını zamanında tespit edebilmesidir. Bu sayede operasyonel maliyetler ve hata oranları azaltılabilmektedir. Bu sayede tedarik zincirinde kesinti yaratılmadan müşteri ihtiyaç ve beklentileri zamanında karşılanabilmektedir (Hamdy v.d., 2020: 59).

**Görsel 7.** Depoda IoT Sisteminin Uygulanması



**Kaynak:** Hamdy ve arkadaşları (2020) tarafından oluşturulan görselden referans alınarak yeniden oluşturulmuştur.

Görsel 7'de nesnelerin interneti (IOT) tabanlı depo yönetim sisteminin genel işleyişi gösterilmektedir. Sistemin ilk aşamasını, RFID okuyucular ve çeşitli sensörlerle (sıcaklık, nem, ağırlık) donatılmış fiziksel nesnelerin yer aldığı "bağlı nesneler" katmanı oluşturmaktadır. Bu katmanda etiketlenmiş kutuların giriş ve çıkış süreleri RFID okuyucular sayesinde izlenebilmektedir. Elde edilen veriler, bir ağ alt yapısı üzerinden internete aktarılmaktadır. Ardından ham veriler işlenerek anlamlı bilgiye dönüştürülmektedir. İşlenen veriler, online uygulamalar aracılığıyla kullanıcıların erişimine sunulmaktadır. Son aşamada ise tüm verilerin bir bulut veri tabanına aktarılması ve orada saklanması sağlanır.

### 3.5. Yapay Zekâ (Artificial Intelligent)

Yapay zekâ, bilgisayarların ve makinelerin insan zekâsına benzer bir şekilde öğrenebilme, düşünebilme, karar verebilme ve gerektiğinde problem çözebilme yeteneğini ifade etmektedir. Kısacası yapay zekâ makineleri ve bilgisayarları düşünen ve öğrenen sistemler haline getiren bir teknolojidir. Bu teknolojinin

temelinde veriler ve algoritmalar yer alır, bu sayede verilen görevler otomatik bir şekilde algılanır ve yerine getirilir (Ahmed, v.d., 2022; Huynh-The, v.d., 2022).

Depolarda yapay zekâ kullanımı, lojistik süreçlerin etkinliğini ve verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu sistem sayesinde geçmiş veri deneyimlerini kullanarak talep tahmini, ürün elleçleme gibi süreçler kolaylıkla planlanabilmektedir. Bu sayede değişen müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı ve etkili bir şekilde uyum sağlanabilir (Sodiya, v.d., 2024: 272). Yapay zekâ algoritmaları, büyük veri analitiğinden yararlanarak envanter seviyelerini izlemekte, stok fazlası veya eksikliği gibi sorunları önlemede yardımcı olmaktadır (Klump, v.d., 2019).

Modern lojistik ve depo yönetiminde yapay zekâ olduğu kadar üç boyutlu (3D) teknolojilerden de faydalanılmaktadır. 3D teknolojiler, depolardaki fiziksel ortamın dijital bir modelini oluşturarak ürünlerin konumu, boyutu gibi bilgileri belirlemeyi sağlar. Bu sayede raftaki ürünler algılanır, kavrama noktaları belirlenir ve insan müdahalesine gerek kalmadan depo operasyonları gerçekleştirilmiş olur (Latif ve Shin, 2020: 1491). 3D teknolojilerinin özellikleri ve kapsamı arttıkça maliyetleri de yükselir; Lidar (Lazer ile yer tespiti elde eden bir tarama yöntemi) ve TOF (Time-of-Flight; nesnelere gönderilen ışık sinyallerinin geri dönme süresini ölçerek derinlik bilgisi sağlayan yöntem) gibi aktif 3D yöntemler, yüksek doğruluk ve hızlı veri toplama imkânı sağlarken, sensör ve kamera maliyetleri görece yüksektir. Yapısal ışık yöntemine sahip 3D teknolojiler ise, sahnedeki eksik özellikleri tamamlayarak detaylı 3D model elde edilmesini sağlarken, yüksek donanım maliyeti ve karmaşık algoritmalar gerektirir (Hao, v.d., 2022: 9152-9153).

Yapay zekânın sadece bir teknoloji olarak değil, işletmenin kaynakları, süreçleri ve çalışanlarının becerileriyle birlikte yönetilmesi, işletmenin hem günlük operasyonlarında hem de stratejik hedeflerinde başarıya ulaşmasını sağlar. Bu bütüncül yaklaşım, karar alma süreçlerinin daha etkili kullanılmasına olanak tanır (Zhang, v.d., 2021: 11). Karar verme süreçlerinde, insanın sezgisel ve deneyimsel bilgisi ile yapay zekânın analiz gücü birleştirilir. Böylelikle karar alternatifleri sistematik biçimde değerlendirilir, süreç daha düzenli ilerler ve alınan kararların doğruluğu ile güvenilirliği artar (Pandian, 2019).

### **3.6. Otomatik Toplama ve Geri Alma Sistemleri**

Depo operasyonlarında verimliliği artırmak amacıyla otomasyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Otomasyon, insan müdahalesine duyulan ihtiyacı azaltarak işlemlerin makineler, sensörler, yazılımlar veya robotlar aracılığıyla yapılması anlamına gelir. Otomasyon sayesinde ürünler kısa sürede sevkiyata hazırlanabilir, böylece zaman ve maliyet kayıpları azaltılabilir (Genç ve Tunalı, 2022: 208).

Otomatik toplama ve geri alma sistemleri, depo içerisindeki ürünlerin hızlı bir şekilde uygun raflara yerleştirilmesi ve uygun raflardan alınarak sevkiyata

hazırlanması anlamına gelmektedir. Sistem, gıdadan otomotive, sağlık sektöründen inşaat sektörüne kadar pek çok alandaki depo yönetiminde kolaylık sağlamaktadır. Sistemin performansını artırmak amacıyla, çeşitli iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu kapsamda, çalışanların ve ekipmanların depo içerisindeki seyahat sürelerinin en aza indirilmesi için ürünler belirli kriterlere göre sınıflandırılmakta ve siparişlerin sıralaması verimlilik sağlayacak şekilde düzenlenmektedir (Soyaslan, v.d., 2015: 8). İşlemlerin anlık olarak izlenebilmesi, sistem performansının sürekli değerlendirilmesine ve gerektiğinde hızlı bir şekilde müdahale edilmesine olanak tanımaktadır.

Otomatik toplama ve geri alma sistemleri içerisinde en yaygın kullanılan Otomatik Depolama Sistemi adı verilen AS/RS (Automated Store & Retrieval System) sistemidir (Polat, 2020: 175). AS/RS sistemi, raflar arasında hareket eden vinçlerden oluşan bir sistemdir. Hem üretim hem de dağıtım ortamlarında AS/RS sistemleri, ürünlerin (örneğin hammadde veya yarı mamul ürünlerin) depoya yerleştirilmesi ve siparişleri karşılamak üzere depodan geri alınması için kullanılmaktadır (Roodbergen ve Vis, 2009: 343).

**Görsel 8. AS/RS Sistemi**



**Kaynak:** (Satınalma Dergisi, Erişim Tarihi: 28.09.2025).

AS/RS sisteminde depo içerisindeki koridor boyunca sabit bir ray sistemi kurulur. Sistem üzerinde aynı anda hem yatay hem de dikey hareket edebilen kule robotu bulunur (Görsel 8). Bu robotlar hassas sensörlere sahiptirler (Corobo, 2025; Genç ve Tunali, 2022: 208). Sensörlerle donatılmış kule robotları, ürünlerin RFID, barkod/karekod, gibi teknolojilerle toplanmasını sağlamakta; ayrıca ışık ve ses destekli yönlendirmelerle uygun raflara yerleştirilmesi işlemlerini gerçekleştirmektedir. Böylece hata payı azaltılmakta, verimlilik artışı sağlanmakta

ve özellikle ağır yüklerin yerleştirilmesi esnasında ortaya çıkabilecek iş kazaları gibi olumsuz durumlar en aza indirgenebilmektedir (Polat, 2020: 176).

### 3.7. Otomatik Klavuzlu Araçlar (AGV)

Günümüzde robotların kullanım alanı depolar içerisinde de yaygınlaşmaktadır. Bu robotlardan en çok bilineni Automated Guide Vehicle (AGV) olarak adlandırılan kendi kendine hareket edebilen sürücüsüz araçlardır (He, v.d., 2018: 6956). Bu araçlar, belirlenen konum doğrultusunda ürünleri bir yerden başka bir yere taşımakta, sevkiyata hazırlamakta veya uygun rafın önüne kadar götürmektedir (Tang, v.d., 2021).

AGV robotları, navigasyon sistemi, çarpışma ve park sensörleri, iletişim cihazları ve yük aktarımını sağlayan bir bataryadan oluşan gelişmiş araçlardır (Tang, v.d., 2021). AGV'ler, manuel forklift ve konveyör kullanımını azaltarak depo içi sıkışıklığı önler, trafik akışını optimize eder ve böylece operasyonların daha hızlı ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar (Sodiya, 2024: 275). AGV'lerin etkin çalışabilmesi için yol planması ve çatışma önleme algoritmalarının doğru şekilde uygulanması gerekir. Aksi halde araçlar arasında çarpışmalar, tıkanıklıklar veya operasyonel sorunlar yaşanabilir ve bu durum depo verimliliğini olumsuz etkiler (Lian, v.d., 2020: 17).

#### Görsel 9. AGV Görseli



**Kaynak:** (Guizzo, 2008).

Akıllı depolar içerisinde AGV filolarına giderek daha fazla yer verilmeye başlanmıştır. Bu filoların depo ve depo içerisindeki diğer sistemlerle olan entegrasyonu işletmeler açısından giderek önem kazanmaktadır (Bashar, 2024: 7009). AGV teknolojisinin en bilinen uygulama örneklerinden biri Amazon tarafından kullanılan Kiva robotlarıdır (Görsel 9). Kiva robotları, Amazon'un operasyonlarını hızlandırarak siparişlerin daha hızlı hazırlanmasını sağlar (Yudiansyah, v.d., 2020: 804). AGV robotlarının avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Filonun doğru ve hızlı bir şekilde izlenebilmesi için

AGV'lerin üzerindeki sensörlere ek olarak gelişmiş bir kamera sisteminin ve konum/yön bilgisini hassas biçimde hesaplayan algoritmaların da olması gerekir (Yang, v.d., 2022). Ayrıca robotların verimli çalışabilmesi için zemindeki barkod etiketlerinin temiz ve sağlam olması gerekir. Aksi halde sistemin performansı düşer. Bunun yanı sıra, robotların uzun şarj sürelerine ihtiyaç duyması da operasyonel verimliliği olumsuz etkiler (Yudiansyah, v.d., 2020: 804).

### 3.8. Dronelar

Depo droneları, depo içerisinde hafif ürünleri taşıma, raflara yerleştirme, stok takip edebilme, bakım-onarım gibi operasyonel süreçlerde yardımcı olan insansız hava araçlarıdır (Modula, 2023). Dronelar yalnızca malzeme taşıma görevleriyle sınırlı kalmayıp, olası hasar tespiti yapmak, paletlerin yerleşimini ve düzenini incelemek gibi denetim ve gözetim süreçlerinde de etkin şekilde kullanılabilmektedir. (Ali, v.d., 2024: 922).

**Görsel 10.** Depo İçerisinde Kullanılan Drone



**Kaynak:** (Modula, 2023).

Görsel 10'da depo içerisinde otonom uçuş gerçekleştiren drone yer almaktadır. Dronelar, depolarda güvenlik amaçlı da kullanılabilmektedir. Hareketlerin izlenmesi, yetkisiz girişlerin tespiti ve hırsızlık gibi risklerin önlenmesi dronelerin sağladığı başlıca avantajlar arasındadır (Ali, vd., 2024: 922). Gelişmiş sensörler ve kamera sistemleri sayesinde, depo alanındaki olağandışı durumlar hızlı bir şekilde tespit edilebilmekte, güvenlik personeline erken uyarı sağlanabilmektedir (Wawela, v.d., 2019).

Depo dronelerinin işlevi, verilen göreve bağlı olarak değişmektedir. Bazı durumlarda tamamen otonom çalışabilirken, bazı görevlerde operatörler tarafından manuel olarak kontrol edilebilirler (Modula, 2023). Özellikle karmaşık görevlerde

veya depo düzeninde ani değişiklikler olduğunda, manuel kontrol opsiyonu esneklik sağlamaktadır. Ek olarak, dronelar depo yönetim sistemleri (WMS) ve diğer otomasyon teknolojileri ile entegre edildiğinde tüm depo süreçleri daha verimli ve şeffaf hale gelmiş olur.

### **Akıllı Depo Sistemlerinin Etkinlik Analizi**

Akıllı depolar, geleneksel depolama sistemine kıyasla operasyonel verimliliği büyük ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Otomasyon, robotik sistemler, nesnelerin interneti, yapay zekâ gibi teknolojilerin entegrasyonu sayesinde sipariş işleme, ürünlerin uygun raflara yerleştirilmesi ve sevkiyata hazırlanması gibi süreçler daha hızlı ve hatasız şekilde yürütölmektedir (Geest, v.d., 2021). Ayrıca akıllı depolar, depo alanlarının verimli kullanılmasına imkân tanımaktadır. AS/RS sistemleri gibi dikey depolama sistemleri sayesinde alan optimizasyonu sağlanarak ürün kayıpları en aza indirilmektedir (Jaraşünienė, v.d., 2023). Akıllı depoların bir başka avantajı, akıllı depolar içerisinde kullanılan Endüstri 4.0 teknolojilerinin enerji ve maliyet tasarrufu sağlamasıdır. Özellikle sensör tabanlı izleme sistemleri, otomatik aydınlatma, ısıtma-soğutma kontrolü sağlayan sistemlerin varlığı enerji tüketimi sağlamaktadır.

Akıllı depoların her ne kadar avantajları dikkat çekici olsa da yaygınlaşmasını sınırlayan bazı dezavantajları da söz konusudur. En önemli dezavantajı ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Bilgin-Sarı, v.d., 2019). Akıllı depoların bir diğer dezavantajı Akıllı depo içerisinde kullanılan robotik sistemlerin, sensör alt yapılarının ve yazılım entegrasyonlarının ciddi bir sermayeye ihtiyacı vardır. Bu durum özellikle küçük ölçekli işletmeler için yatırım yükü oluşturmakta ve bu işletmelerin akıllı depo teknolojilerine geçişini zorlaştırmaktadır (Tunalı, 2024). Ayrıca, çoğu işletme akıllı depo teknolojilerinin potansiyel kullanım alanlarını incelemeye başlamış olsa da, söz konusu teknolojilere dair belirsizlikler nedeniyle uygulamada temkinli davranmaktadır (Gagliardi, 2025).

Sistemde meydana gelebilecek teknik arızalar, depo operasyonlarını durma noktasına getirebilir. Akıllı depolarda kullanılan teknolojiler, süreçleri çalışanlardan makinelere kaydırđığı için nitelikli iş gücüne olan ihtiyacı azaltmaktadır. Bununla birlikte, çalışanlar zamanla makine ve robotlara bağımlı hale gelebilir (Min, 2023: 9). Bu nedenle personellerin yeni beceriler edinmesi ve sisteme adapte olması zaman alabilir. Hatta bazı çalışanlar bu dönüşüme karşı direnç gösterebilir.

### **Sürdürülebilirlik ve Akıllı Depolar**

Sürdürülebilirlik en genel tabirle, kaynakları tüketirken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını gözetmek anlamına gelmektedir. Sürdürülebilirlik yaklaşımı çevresel, ekonomik ve sosyal boyut olmak üzere temelde üç boyut üzerinden

değerlendirilmektedir (Kaya ve Dışkaya, 2024: 115). Güvenli ve sürdürülebilir bir çevreye yönelik endişeler, yıllar içerisinde giderek artmış, bu durum hem kamu politikalarında hem de işletme stratejilerinde sürdürülebilirliğin öncelikli bir hedef haline gelmesine neden olmuştur (Ali ve Phan, 2022: 655). Sürdürülebilirlik bilincinin gelişmesi ve yeşil lojistik uygulamalarının yaygınlaşması ile birlikte, lojistik faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri azalmaya başlamıştır. Özellikle endüstri 4.0 teknolojileri çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sağlayarak, işletmelerin sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Bu kapsamda tedarik zincirinde geliştirilecek sürdürülebilir çözümlerin genel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayacağı ifade edilmektedir (Buntak, v.d., 2019: 248). Buna ek olarak, çevre dostu ve düşük karbon salınımı seçenekleri ile optimize edilmiş bir depo ve depo operasyonları, iklim değişikliği ile mücadelede işletmeleri hem operasyonel verimlilik hem de çevresel sorumluluk açısından güçlendirmektedir (Zakaria, v.d., 2024: 410).

Sürdürülebilir tedarik zincirinin temel bileşeninden biri sürdürülebilir depolamadır. Sürdürülebilir depolama, depo konumunun belirlenmesi, varsa tehlikeli maddelerin uygun şekilde depolanması veya imha edilmesi, depo içerisinde kullanılan araçların (örneğin forkliftlerin) çevre dostu özellikler taşıması ve personelin çevresel farkındalık eğitimleri almasını kapsamaktadır (Carter ve Rogers, 2008).

Sürdürülebilir depo yönetimi yalnızca ekonomik faktörleri (kira, maliyetler) değil, aynı zamanda depo çevresindeki sosyal ve çevresel etkileri de dengelemeyi gerektirir (Tan, v.d., 2010). Ancak literatürdeki bir çok çalışma, şirket politikaları ve maliyet öncelikleri nedeniyle depo ve tesis yerleşim kararlarının çevresel boyutunu yeterince değerlendirememektedir (Uysal ve Tosun, 2015: 343). Günümüzde akıllı depo sistemleri, bu eksikliği önemli ölçüde gidermektedir. Otomasyon sistemleri, yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) ve otomatik kılavuzlu araçlar (AGV) gibi teknolojilerin entegrasyonu sayesinde enerji kullanımı ve atık yönetimi daha etkin biçimde kontrol edilebilmektedir. Bu sayede, depo içerisinde gereksiz enerji tüketimi ve malzeme israfı önlenerek kaynak verimliliği artırılmaktadır. Ayrıca işletmelerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına da katkı sağlanmaktadır.

## **Sonuç**

Lojistiğin temel aktörlerinden biri olan depolar, insanlık tarihinde oldukça eski bir geçmişe sahiptir. İlk çağlarda insanların avladıkları hayvanları mağaralarda saklaması ile başlayan depolama faaliyetleri, zamanla tarım ürünlerinin istiflendiği alanlar haline gelmiştir. Devam eden süreçte depolar, hammadde ve bitmiş ürünlerin muhafaza edildiği yerler olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise depo denilince

yalnızca ürünlerin muhafaza edildikleri yerler değil aynı zamanda ambalajlama, elleçleme, sipariş işleme, etiketleme, paletleme ve paketleme gibi çok yönlü işlemlerin yapıldığı kompleks merkezler akla gelmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojilerinin gelişimi ile depoların işlevi bir dönüşüm geçirmiştir. Depo yönetim sistemleri (WMS), barkodlar, RFID etiketleri, nesnelerin interneti (IoT), otomatik kılavuzlu araçlar (AGV), yapay zekâ, otomatik toplama sistemleri, sensörler, dronelar gibi teknolojilerin depolara entegrasyonu literatürde "akıllı depo" olarak tanımlanan yeni bir kavramı ortaya çıkarmıştır. Bu sistemler sayesinde depolardaki iş süreçleri daha hızlı, verimli ve esnek hale gelirken; işgücü azalmakta, hata oranları düşmekte ve ürün kaybı ile hasar riski en aza inmektedir. Böylece işletmeler, operasyonel mükemmeliyetin yanı sıra rekabet avantajı elde etmektedir.

Akıllı depoların sunduğu başlıca avantajlar şunlardır:

- Operasyonel süreçlerde yüksek verimlilik sağlar.
- Zaman, maliyet ve enerji tasarrufu sağlar.
- Hata ve kayıp oranlarını azaltır.
- Daha fazla ve farklı türde ürünü sınırlı bir alanda depolama imkânı sağlar.
- Ürünlerin depo ve sevkiyat süreçlerinde takip edilebilmesini sağlar.
- Müşteri memnuniyetini artırır.
- Risk yönetimini güçlendirir.
- Sürdürülebilirliği destekler.

Bununla birlikte, akıllı depoların bazı dezavantajları da bulunmaktadır;

- İlk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.
- Teknolojik altyapıya olan bağımlılık artar.
- Teknik destek ve bakım maliyetleri yüksek olabilir.
- Veri sızıntısı ve siber saldırılar gibi güvenlik riskleri ortaya çıkabilir.

Küresel belirsizlikler ve krizler, örneğin Covid-19 pandemisi, akıllı depo sistemlerinin sadece verimlilik aracı değil, aynı zamanda işletmelere esneklik ve kriz yönetimi kapasitesi sağlayan stratejik bir araç olduğunu göstermiştir. Pandemi sürecinde yaşanan talep dalgalanmaları, tedarik zinciri kesintileri ve stok yönetimi sorunları, işletmelerin dijital altyapı eksikliklerini ortaya çıkarmış ve depo teknolojilerinin önemini artırmıştır. (Sodiya, 2024: 278). Bu nedenle, gerçek zamanlı veri takibi, talep tahmin modelleri ve otomatik karar destek sistemleri gibi araçlar, gelecekteki benzer krizlere hızlı yanıt verebilmek ve işletmelerin operasyonel esnekliğini artırmak için temel gereksinimler haline gelmiştir.

Endüstri 4.0 yaklaşımı çerçevesinde gelişen akıllı depo teknolojileri, yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve iş güvenliği gibi alanlarda faydalar sağlamaktadır (Nagajayanthi ve JayaSingh, 2021:

193). İnsan hatasından kaynaklanan riskler azalmakta, enerji tüketimi düşmekte ve kaynakların rasyonel planlaması mümkün hâle gelmektedir. Böylece akıllı depo sistemleri, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği destekleyen bütüncül bir lojistik anlayışı ortaya koymaktadır.

Tüm bu faydaların yaygınlaştırılabilmesi için devletlerin teknolojik altyapı yatırımlarını teşvik etmesi, Ar-Ge çalışmalarına destek vermesi ve lojistik sektörüne yönelik dijitalleşme stratejilerinin güçlendirilmesi gerekmektedir (Tunalı, 2024: 83). Ayrıca üniversite-sanayi iş birlikleri, meslek içi eğitim programları ve finansman modelleri ile desteklenen bir dönüşüm süreci, başta ülkemiz olmak üzere dünyadaki lojistik altyapısında akıllı depo teknolojilerinin daha etkin uygulanmasını mümkün kılacaktır.

## Kaynakça

- Acar, Z., & Çakmak, E. (2018). *Depo ve dağıtım merkezleri yönetimi*. İstanbul: UTİKAD.
- Acartürk, C. (2012). Barkod teknolojilerinin eğitimde kullanımı: Bilişsel bilimler çerçevesinde bir değerlendirme. *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* (s. 117-122). Akademik Bilişim.
- Affia, I., & Aamer, A. (2022). An internet of things-based smart warehouse infrastructure: design and application. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 13(1), 90-109.
- Ahmed, I., Jeon, G., & Piccialli, F. (2022). From artificial intelligence to explainable artificial intelligence in industry 4.0: a survey on what, how, and where. *IEEE Transactions on Industrial*, 18(8), 5031-5042.
- Ali, I., & Phan, H. M. (2022). Industry 4.0 technologies and sustainable warehousing: a systematic literature review and future research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 33(2), 644-662.
- Ali, S. S., Khan, S., Fatma, N., Ozel, C., & Hussain, A. (2024). Utilisation of drones in achieving various applications in smart warehouse management. *Benchmarking*, 31(3), 920-954.
- Andiyappillai, N. (2020). Digital transformation in warehouse management systems (WMS) implementations. *International Journal of Computer Applications*, 177(45), 34-37.
- Aravindaraj, K., & Chinna, P. R. (2022). A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 1-12.
- Bashar, M. A. (2024). A roadmap to modern warehouse management. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 6(5), 7004-7014.
- Bilgin-Sarı, E., Özveri, O., & Şenyay, U. E. (2019). Endüstri 4.0'ın iş süreçleri yönetimine etkisi: Akıllı depolama sistemi uygulaması. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(2), 466-477.
- Boz, E., Çalık, M., & Canitez, M. (2022). Akıllı ve sürdürülebilir depo yönetimi. In. G. Akandere & F. Cura (Ed.), *Uluslararası ticaret ve lojistik 4.0: Güncel trend ve uygulamalar* (s. 151-168). Eğitim Yayınevi.
- Buntak, K., Kovačić, M., & Mutavdžija, M. (2019). Internet of things and smart warehouses as the future of logistics. *Tehnički Glasnik*, 13(3), 248-253.
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360-387.

- Chen, X., He, S., Zhang, Y., Tong, L. C., & Shang, P. (2020). Yard crane and AGV scheduling in automated container terminal: A multi-robot task allocation framework. *Transportation Research Part C*, 114, 241-271.
- Chen, X., Wang, X., Kumar, V., & Kumar, N. (2016). Low carbon warehouse management under cap-and-trade policy. *Journal of Cleaner Production*, 139, 894-904.
- Corobo. (2025). *AS/RS Robotları*. [https://www.corobo.com.tr/iclojistikurunleri\\_menu/asrsrobotlari/](https://www.corobo.com.tr/iclojistikurunleri_menu/asrsrobotlari/) adresinden alındı.
- Dhaliwal, A. (2020). The rise of automation and robotics in warehouse management. In V. Garg & R. Agrawal (Ed.), *Transforming management using artificial intelligence techniques* (s.63-72). CRC Press.
- Eaton, L. K. (1982). Warehouses and warehouse districts in mid-american cities. *Urban History Review*, 11(1).
- Erdal, M., Görçün, Ö. F., & Saygılı, M. S. (2010). *Depo Yönetimi*. İstanbul: Utikad.
- Ertek, G. (2012). Depolama Sistemleri (Warehousing Systems). In. B. Çatay, & G. Öztürk (Ed.), *Uluslararası Lojistik*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Gagliardi, N. (2025). *AI in warehouse management: Impacts and use cases*. Oracle:[https://www.oracle.com/scm/ai-warehouse-management/?utm\\_source](https://www.oracle.com/scm/ai-warehouse-management/?utm_source) adresinden alındı.
- Geest, M. V., Tekinerdoğan, B., & Çatal, Ç. (2021). Smart Warehouses: Rationale, Challenges and Solution Directions. *Applied sciences*, 12(1).
- 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.
- Guizzo, E. (2008). Kiva Systems: Three engineers, hundreds of robots. *IEEE Spectrum*, 45(7), 26-34.
- Hamdy, W., Mostafa, N., & Alawady, H. (2020). An intelligent warehouse management system using the internet of things. *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, (32), 59-65.
- Hao, Y. N., Tan, Y. C., Tai, V. C., Zhang, X. D., Wei, E. P., & Ng, S. C. (2022). Review of key technologies for warehouse 3D reconstruction. *Journal of Mechanical Engineering And Sciences*, 16(3), 9142-9156.
- He, Z., Aggarwal, V., & Nof, S. Y. (2018). Differentiated service policy in smart warehouse automation. *International Journal of Production Research*, 56(22), 6956-6970.
- Horta, M., Coelho, F., & Relvas, S. (2016). Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 1-9.
- Huynh-The, T., Pham, Q. V., Pham, X. Q., Nguyen, T. T., Han, Z., & Kim, D. S. (2023). Artificial intelligence for the metaverse: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117.

- Jarašūnienė, A., Čižiūnienė, K., & Čereška, A. (2023). Research on Impact of IoT on Warehouse Management. *Sensors*, 23(4).
- Kamali, A. (2019). Smart warehouse vs. traditional warehouse. *CiiT International Journal of Automation and Autonomous System*, 11(1), 9-16.
- Kaya, M., & Dışkaya, S. (2024). Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde lojistik köy ve merkezlerin önemi. *Journal of Life Economics*, 11(3), 115-124.
- Kembro, J. H., & Norrman, A. (2025). A strategic perspective on automated warehouse systems in retail: insights from a multiple case study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 55(11), 57-91.
- Klumpp, M., Hesenius, M., Meyer, O., Ruiner, C., & Gruhn, V. (2019). Production logistics and human-computer interaction-state-of-the-art, challenges and requirements for the future. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 3691-3709.
- Kumar, S., Narkhede, B. E., & Jain, K. (2021). Revisiting the warehouse research through an evolutionary lens: a review from 1990 to 2019. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3470-3492.
- Latif, U. K., & Shin, S. Y. (2020). OP-MR: the implementation of order picking based on mixed reality in a smart warehouse. *The Visual Computer*, 36, 1491-1500.
- Lehpamer, H. (2012). *RFID desing principles*. Norwood: Artech House.
- Lian, Y., Xie, W., & Zhang, L. (2020). A probabilistic time-constrained based heuristic path planning algorithm in warehouse multi-AGV systems. *21st IFAC World Congress*, (s. 12-17). Germany.
- Liu, X., Cao, J., Yang, Y., & Jiang, S. (2018). CPS-based smart warehouse for industry 4.0: A survey of the underlying technologies. *Computers*, 7(1), 1-17.
- Min, H. (2023). Smart Warehousing as a wave of the future. *Logistics*, 7(30), 1-12.
- Mo, L. F., & Li, C. Y. (2019). Passive UHF-RFID localization based on the similarity measurement of virtual reference tags. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(8), 2926-2933.
- Modula. (2023). *Warehouse technology for beginners: top 12 automated solutions*. Modula: [https://modula.us/blog/warehouse-technology/?utm\\_source=adresinden alındı.](https://modula.us/blog/warehouse-technology/?utm_source=adresinden%20alindi)
- Nagajayanthi, B., & JayaSingh, R. (2021). Design and Development of Automated Smart Warehouse Solution. *n Futuristic Communication and Network Technologies: Select Proceedings of VICFCNT*, (s. 193-203). Singapore.
- Özcan, C. (2019). Lojistik alanında RFID sisteminin işletmelerde uygulama olanakları ve avantajları: İzmir ilinde bir uygulama. *Yayımlanmamış Yüksek*

*Lisans Tezi.* Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Uluslararası İşletmecilik Programı .

- Özceylan, A., & Tanyaş, M. (2021). Geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşim tipleri ve tasarımları üzerine araştırma. *Journal of Transportation and Logistics*, 6(2), 197-216.
- Pandian, A. P. (2019). Artificial intelligence application in smart warehousing environment for automated logistics. *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks*, 1(2), 63-72.
- Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordà, G., Morales, J., & Zapata, L. (2015). Storage in traditional farming communities of the western Mediterranean: Ethnographic, historical and archaeological data. *Environmental Archaeology*, 20(4).
- Polat, Ç. (2020). *Depolama ve Envanter Yönetimi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Qiu, X., Luo, H., Xu, G., Zhong, R., & Huang, G. Q. (2015). Physical assets and service sharing for IoT-enabled supply hub in industrial park (SHIP). *Int. J. Production Economics*, 159, 4-15.
- Qui, Z., Long, J., Yu, Y., & Chen, S. (2025). Integrated task assignment and path planning for multi-type robots in an intelligent warehouse system. *Transportation Research Part E*, 194.
- Risberg, A., Jafari, H., & Sandberg, E. (2023). A configurational approach to last mile logistics practices and omni-channel firm characteristics for competitive advantage: a fuzzy-set qualitative comparative analysis. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 53(11), 53-70.
- Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194, 343-362.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The handbook of logistics & distribution management*. London: Kogan Page.
- Satınalma Dergisi. (Erişim Tarihi: 28.09.2025). *AS/RS Otomatik Depolama*. <https://satinalmadergisi.com/category/y/y-f7/> adresinden alındı.
- Shahzad, M., & Liu, A. X. (2015). Fast and accurate estimation of RFID tags. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 23(1), 241-254.
- Singh, R. K., Chaudhary, N., & Saxena, N. (2018). Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study. *IIMB Management Review*, 30, 343-356.
- Sodiya, E. O., Umoga, U. J., Amoo, O. O., & Atadoga, A. (2024). AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems. *GSC Advanced Research and Reviews*, 18(2), 272-282.

- Soyaslan, M., Közkurt, C., & Fenercioğlu, A. (2015). Otomatik depolama ve boşaltma sistemleri (ODBS): Depo kurulumu ve performans çalışmaları üzerine araştırma. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 3(3), 8-26.
- Subramanya, K. N., & Rangaswamy, T. (2012). Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1), 14-20.
- Tadić, S., Mičić, B., & Krstić, M. (2023). Corss-docking concept: role, advantages and disadvantages. *Tehnika*, 78(6), 725-731.
- Tan, K. S., Ahmed, M. D., & Sundaram, D. (2010). Sustainable enterprise modelling and simulation in a warehousing context. *Business Process Management Journal*, 16(5), 871-886.
- Tang, H., Cheng, X., Jiang, W., & Chen, S. (2021). Research on equipment configuration optimization of AGV unmanned warehouse. *IEEE Access*, 9, 47946-47959.
- Tanyaş, M., & Baskak, M. (2012). Farklı açılardan depoların sınıflandırılması. *Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*. Konya.
- Tanyaş, M., & Düzgün, M. (2022). *Uluslararası Lojistik*. Ankara: Nobel.
- Toktaş-Palut, P., & Okçuoğlu, F. (2019). Depo tasarımı ve yerleşimi: Bir gerçek hayat uygulaması. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 14-22.
- Tosun, H. C., & Zaim, A. H. (2018). RFID sistemleri ile depo yönetim sistemlerinde konum belirlemede kullanılacak yöntem ve teknolojilere genel bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(33), 27-39.
- Tubis, A. A., & Rohman, J. (2023). Intelligent warehouse in industry 4.0-systematic literature review. *Sensors*, 23, 1-28.
- Tunalı, İ. (2024). Lojistik 4.0 ve akıllı depo sistemlerine yönelik çalışanların bakış açısı: Enerji sektöründe bir firma uygulaması. *Yayımlanmamış yüksek lisans tezi*. Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Uysal, F., & Tosun, Ö. (2015). Selection of sustainable warehouse location in supply chain using the grey approach. *International Journal of Information and Decision Sciences*, 6(4), 338-353.
- Verzani & Sandrini. (2022). *O que é Tecnologia RFID e quais são seus benefícios? Confira*. Verzani & Sandrini: <https://www.verzani.com.br/blog/tecnologia-rfid/> adresinden alındı.
- Wawela, L., Maghazei, O., & Netland, T. (2019). Applications of drones in warehouse operations. *Whitepaper*, 212, 1-12.

- Yang, Q., Lian, Y., Liu, Y., Xie, W., & Yang, Y. (2022). Multi-AGV tracking system based on global vision and apriltag in smart warehouse. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 104(42), 2-16.
- Yudiansyah, A., Keke, Y., & Veronica, V. (2020). Can the mobile robot be a future order-picking solution?: A case study at Amazon fulfillment center. *Advances in Transportation and Logistics Research*, 3, 800-806.
- Zakaria, I. H., Lyn, J., Azizul, P. M., Mazlan, F. A., & Bakri, A. (2024). Smart warehousing solutions: enhancing efficiency and sustainability in logistics and transportation. *Journal on Technical and Vocational Education*, 9(2), 409-420.
- Zhang, D., Pee, L. G., & Cui, L. (2021). Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's smart warehouse. *International Journal of Information Management*, 57, 1-15.
- Zhen, L., & Li, H. (2022). A literature review of smart warehouse operations management. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 31-55.
- Zhou, W., Piramuthu, S., Chu, F., & Chu, C. B. (2017). RFID-enabled flexible warehousing. *Decision Support Systems*, 98, 99-112.
- Žunić, E., Delalić, S., Hodžić, K., Beširević, A., & Hindija, H. (2018). Smart warehouse management system concept with implementation. *14th Symposium on Neural Networks and Applications*, (s. 1-5). Belgrad, Serbia.

## **7. Bölüm**

# **Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminde Makine Öğrenimi**

**Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI <sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü,  
nesrinkoc@akdeniz.edu.tr. ORCID No: 0000-0003-4217-4212

## GİRİŞ

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte bilgi, robotik, iletişim teknolojileri ve yapay zeka alanlarında yaşanan gelişmeler, dünyayı “Endüstri 4.0” olarak adlandırılan bir çağa taşımıştır. Bu çağ, makinelerin yalnızca insan kontrolünde çalışan araçlar olmaktan çıkarak, karar verme yetisine sahip akıllı sistemlere dönüşmesiyle karakterize edilmektedir (Ni vd., 2020). Özellikle tedarik zincirlerinin dijital dönüşümü, endüstriyel ve ticari faaliyetlerin temel yapı taşlarından biri haline gelmiştir (Mohamed-Iliasse vd., 2022). Günümüzün yoğun rekabet ortamında bilgi teknolojilerindeki devrim, ekonomik küreselleşme ve yükselen müşteri beklentileri, şirketlerin tedarik zinciri yönetimi (TZY) yapılarında köklü değişimlere yol açmış dolayısıyla rekabet, artık işletmeler arasında değil tedarik zincirleri arasında gerçekleşir hale gelmiştir (Tirkolae vd., 2021).

Bu dönüşümle birlikte tedarik zincirleri giderek daha karmaşık ve belirsiz ortamlarda faaliyet göstermeye başlamıştır. Bu tür ortamlarda esnek planlama ve etkin kontrol mekanizmaları, iş sürekliliğini koruyarak minimum maliyet ve gecikmeyle müşteri taleplerini karşılamada kritik bir öneme sahiptir (Rolf vd., 2023). Üretim planlaması, envanter yönetimi ve teslimat süreçlerinin gerçek zamanlı olarak koordine edilmesi, değişken pazar koşullarına uyum sağlamak açısından zorunluluk haline gelmiştir. Dolayısıyla sistemin kontrol parametrelerinin maliyetleri azaltacak, geliri artıracak ve hizmet seviyesini koruyacak biçimde dinamik olarak ayarlanması gerekmektedir (Rolf vd., 2023). Bu bağlamda tedarik zincirinin dijital dönüşümü, modern işletmeler için stratejik bir zorunluluk olarak öne çıkmaktadır (Mohamed-Iliasse vd., 2022).

Büyük veri çağında, tedarik zincirlerinde üretilen veri hacmindeki hızlı artış, geleneksel analiz ve karar destek sistemlerinin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu durum, büyük verileri hızlı, doğru ve anlamlı şekilde işleyebilen yapay zeka ve makine öğrenimi- machine learning (ML) tekniklerinin önemini artırmıştır (Tirkolae vd., 2021). Bilgi teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde tedarik zinciri ağında zamanında veri paylaşımı ve görünürlük sağlanması mümkün hale gelmiş bu da TZY’ye olan akademik ve sektörel ilgiyi artırmıştır (Emerson vd., 2009). ML, deneyim yoluyla öğrenebilen algoritmalar aracılığıyla büyük miktarda veriyi işleyerek gizli kalıpları, ilişkileri ve eğilimleri ortaya çıkarabilen bir yapay zeka alt disiplini olarak özellikle dinamik ve karmaşık ortamlarda karar alma süreçlerini desteklemektedir (Ni vd., 2020).

Günümüzün hızlı değişen pazar koşullarında işletmeler, verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilmek için lojistik, envanter yönetimi ve tedarik zinciri gibi süreçlerini yeniden yapılandırmak zorundadır (Pasupuleti vd., 2024). ML teknikleri büyük, dinamik ve

yapılandırılmamış veri kümelerini analiz ederek tedarik zincirlerinin performansını artırmakta ve süreçleri optimize etmektedir (Tirkolae vd., 2021). Örneğin ML algoritmaları, geçmiş ve gerçek zamanlı verilerden yararlanarak talep tahmin doğruluğunu artırabilir, stok seviyelerini optimize edebilir ve dağıtım rotalarını en verimli şekilde planlayabilir. Bu yetenekler, modern tedarik zincirlerinin karmaşık ve değişken doğasının yönetiminde ML'yi vazgeçilmez bir araç haline getirmiştir (Pasupuleti vd., 2024; Tirkolae vd., 2021). Bu bağlamda ML tekniklerinin uygulanması, tedarik zinciri verimliliğini artırma, maliyetleri düşürme, müşteri memnuniyetini iyileştirme ve daha iyi karar alma süreçlerini mümkün kılma açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Thakur vd., 2023).

Bu doğrultuda, çalışmada lojistik ve TZY'de ML ve uygulamalarını incelemek, uygulayıcılar ve araştırmacılar için içgörü ve rehberlik sağlamak amaçlanmıştır. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde ML hakkında bilgi verilmiş, temel ML algoritma ve teknikleri tanıtılmıştır. İkinci bölümde lojistik ve TZY ile ML arasındaki ilişki ele alınmıştır. Üçüncü bölümde lojistik ve TZY'deki ML uygulama alanları detaylı biçimde incelenmiştir. Dördüncü bölümde ML'nin sunduğu fırsatlar ve karşılaşılan zorluklar değerlendirilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde ML'nin lojistik ve TZY'deki uygulama alanlarından bazı gerçek hayat örnekleri sunulmuştur. Son olarak da çalışma genel değerlendirmeler yapılarak sonlandırılmıştır.

## 1. MAKİNE ÖĞRENİMİ

Yapay zeka çalışmaları, 1940'larda makinelerin karar verme kapasitesine yönelik araştırmalarla başlamış, 1956'da "yapay zeka" teriminin ortaya atılmasıyla akademik bir disiplin haline gelmiştir. 1970'lerden itibaren sağlık, ulaşım, üretim ve askeri alanlarda ilgi gören yapay zeka, zamanla akıllı asistanlar, konuşma tanıma ve makine görüşü gibi uygulamalarla günlük yaşamda da yaygınlaşmıştır. 1959'da Arthur Samuel'in çalışmalarıyla öne çıkan ML ise son yıllarda derin öğrenme, büyük veri gibi alt alanlarla birlikte yapay zekanın gelişiminde önemli bir dönüm noktası olmuştur (Akbari ve Do, 2021).

ML, bir algoritmanın, yazılımın veya sistemin özel olarak programlamadan öğrenmesine ve değişen koşullara uyum sağlamasına olanak tanıyan yapay zekanın alt bir alanıdır (Mohamed-Iliasse vd., 2022). ML, verilerden programları otomatik biçimde öğrenen sistemleri ifade etmekte (Knoll vd., 2016) ve giderek büyüyen veri bilimi alanının temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Oršič vd., 2022). Çevresinden öğrenerek insan zekasını taklit etmeyi amaçlayan ML, bilgi işlem algoritmaları bağlamında hızla gelişen bir araştırma alanıdır (Jomthanachai vd., 2023). Bu kapsamda ML, performansı

iyileştirmek veya öngörülerde bulunmak için deneyimden yararlanan bir süreç olarak tanımlanmaktadır ve burada deneyim, elektronik veri toplama sürecinde elde edilen geçmiş bilgileri temsil etmektedir (Mohri vd., 2018).

ML'nin temelinde, verileri anlamak ve bunlardan öğrenmek amacıyla bilgisayar algoritmalarının kullanılması fikri yer almaktadır (Jomthanachai vd., 2023). Bu doğrultuda ML, bilgisayarlar aracılığıyla doğrudan verilerden bilgi edinmenin ve problemlere çözüm üretmeyi öğrenmenin yollarını araştırmaktadır (Ni vd., 2020). Bu yaklaşım, genellikle mevcut gözlemlerle öngörülen sonuçları bir araya getiren veri modellerinin analiz edilmesine dayalıdır ve teknolojilerin işleyişini geliştirmede kullanılmaktadır (Mohamed-Iliasse vd., 2022). Bu modellerde veriler, istatistiksel yöntemler aracılığıyla algoritmaları eğitmek, sınıflandırmalar veya tahminler yapmak ve veri madenciliği projelerinde kritik içgörüler ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır (Oršič vd., 2022). Sonuçta oluşturulan modeller, yeni ve bilinmeyen verilere tepki verebilmekte, bunları kategorize edebilmekte veya tahminlerde bulunabilmektedir (Mohri vd., 2018). Algoritmalara dayalı ML modelleri eğilimleri analiz etmede, anormallikleri saptamada ve büyük veri kümeleri hakkında öngörüler üretmede oldukça başarılıdır (Mohamed-Iliasse vd., 2022).

ML yöntemleri, bilgisayarlara büyük miktarda veriyi daha verimli biçimde nasıl işleyeceklerini öğretmek amacıyla kullanılmakta (Tirkolaee vd., 2021) ve bilgisayarların insan öğrenme davranışlarını nasıl gerçekleştirdiğini ve taklit ettiğini incelemektedir (Jomthanachai vd., 2023). ML'nin temel hedefi, görünmeyen örnekler için doğru tahminler üretebilmek ve büyük ölçekli problemlere dahi uygulanabilecek sağlam ve verimli algoritmalar tasarlamaktır (Mohri vd., 2018). Başarılı bir ML algoritması, eğitim verilerinden öğrendiği süreci genelleştirerek tüm veri kümesine uyarlayabilmelidir (Koç Ustalı vd., 2021). Yeni verilerle karşılaşıldığında, ML algoritmaları daha önce öğrenilen bilgileri genelleştirerek yeni durumlarda karar almayı kolaylaştıran tahminler üretebilir (Jomthanachai vd., 2023). Bununla birlikte bu başarı için modelin eğitilmesinde yeterli büyüklükte ve yüksek kalitede verilerin kullanılması gerekmektedir (Knoll vd., 2016; Aylak vd., 2021).

ML, verimli ve doğru tahmin algoritmaları tasarlamayı (Mohri vd., 2018), öğrenme sürecinde kullanılan verilerin türü ve bu verilerden elde edilen çıktılar bakımından üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu kategoriler farklı öğrenme paradigmalarıyla karakterize edilmekte olup Tablo 1'de bu algoritmalara bağlı başlıca teknikler sunulmaktadır (Mohamed-Iliasse vd., 2022; Wenzel vd., 2019).

**Tablo 1. ML Algoritma ve Teknikleri**

| Öğrenme Türü                                  | Alt Kategori              | Yöntemler                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Denetimli Öğrenme (Supervised Learning)       | Sınıflandırma             | - K-En Yakın Komşu (KNN)<br>- Ayırt Edici Analiz (DA)<br>- Naive Bayes (NB)<br>- Lojistik Regresyon (LR)<br>- Karar Ağaçları (DT) (CART, ID3, C4.5)<br>- Destek Vektör Makineleri (SVM)<br>- Derin Öğrenme / Yapay Sinir Ağları (MCP, ADALINE, MLP, CNN, RNN, LSTM)    |
|                                               | Regresyon                 | - Doğrusal Regresyon (LR)<br>- SVR, GPR<br>- Karar Ağaçları (DT) (CART, ID3, C4.5)<br>- Derin Öğrenme / Yapay Sinir Ağları (MCP, ADALINE, MLP, CNN, RNN, LSTM)                                                                                                         |
| Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)    | Kümeleme                  | - Hiyerarşik Yöntemler: birleştirici yöntemler (bağlantı yöntemleri, medyan, merkez noktası vb.) ve ayırıcı yöntemler (graf boyama)<br>- K-Ortalamalar, Bulanık C-Ortalamalar, K-Medoidler<br>- Yapay Sinir Ağları (Öz-örgütlenen Haritalar)<br>- Gauss Karışım Modeli |
|                                               | İlişki Kuralı Madenciliği | - Apriori<br>- FP-Growth                                                                                                                                                                                                                                               |
| Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning) | RL                        | - Değer İterasyonu (Value Iteration)<br>- Q-Öğrenme (Q-Learning)                                                                                                                                                                                                       |

**Kaynak:** Mohamed-Ilias vd., 2022; Wenzel vd., 2019.

Aşağıda ML algoritmaları açıklanmaktadır:

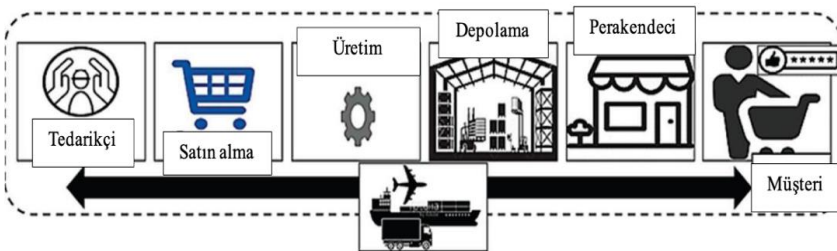
- **Denetimli Öğrenme:** Gözetimli öğrenme olarak da bilinen bu yaklaşım, bilgisayar programlarının hem girdi hem de beklenen çıktı verileriyle eğitildiği süreci kapsamaktadır (Aylak vd., 2021). Girdi ve çıktı verileri sınıflandırma amacıyla etiketlenmekte ve öğrenme tabanı oluşturmaktadır. Bu yöntemler, gelecekteki kararları destekleyecek bilinen niceliklerle algoritmaları besler (Mohamed-Ilias vd., 2022) ve geçmiş verilerden anlamlı bilgiler çıkararak hedef değişkeni tahmin etmeye yönelik modeller üretir (Oršič vd., 2022).
- **Denetimsiz Öğrenme:** Gözetimsiz öğrenme olarak da adlandırılan bu algoritma, açıklama eklenmemiş örnekler üzerinden bilgi keşfetmeyi amaçlayan algoritmalarından oluşmaktadır (Aylak vd., 2021). Bu bağlamda sistem, kendisine sunulan verilerden kategoriler oluşturmakta ve nesneleri otomatik olarak sınıflandırabilmektedir (Mohamed-Ilias vd.,

2022). Kümeleme ve anomali tespiti en yaygın uygulama alanlarını oluşturmaktadır. Kümeleme algoritmaları veri gruplarının içsel homojenliğini en üst düzeye çıkararak farklı gruplar oluşturmayı hedeflerken anomali tespiti normalden sapmaları belirlemede kritik bir rol oynamaktadır (Mohamed-Ilias vd., 2022).

- **Pekiştirmeli Öğrenme:** Takviyeli öğrenme veya eğitilebilir sistemler olarak da adlandırılan bu yaklaşımda, algoritmaya doğrudan çözüm yolu verilmez, bunun yerine sistemin kendi deneyimlerinden öğrenmesi sağlanır. Bu yöntemler, geçmiş deneyimlerden matematiksel kurallar çıkarabilen, yeni verilerle bu kuralları uygulayıp sürekli gelişebilen eğitilebilir sistemler olarak tanımlanmaktadır (Mohamed-Ilias vd., 2022).

## 2. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ

Lojistik, 1950'lere kadar askeri odaklı bir anlayışla ele alınmışken sonraki dönemlerde malların fiziksel dağıtımıyla ilişkilendirilmiştir (Erturgut ve Koç Ustalı, 2021). TZY ise hammaddeyi nihai tüketiciye kadar ürün ve hizmetlerin uçtan uca planlanması ve kontrolünü ifade etmekte olup, 1990'lardan itibaren organizasyonların başarısı için kritik bir unsur haline gelmiştir (Akbari ve Do, 2021). Bu bağlamda lojistik, SCM'nin temel bir bileşeni olarak malzeme, parça ve envanterin tedariki, taşınması ve depolanması gibi faaliyetlerin yönetimini kapsamaktadır (Akbari ve Do, 2021). Şekil 1'de lojistik ve TZY süreci gösterilmektedir. Bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, lojistiği ve tedarik zincirini pek çok zorlukla karşı karşıya bırakmış (Bu, 2021), dijital devrim ve Endüstri 4.0 ile birlikte bu alanlar dönüşümsel bir sürece girmiştir (Akbari ve Do, 2021). Bu dönüşüm, geleneksel tedarik zincirlerinin doğasında bulunan çevresel belirsizlik, maliyet, karmaşıklık gibi sorunları daha da görünür kılmış ve rekabet ortamını yoğunlaştırmıştır (Akbari ve Do, 2021).



Şekil 1. Lojistik ve Tedarik Zinciri Süreci

Kaynak: Akbari ve Do, 2021.

Son yıllarda önemli teknolojik gelişmeler arasında olan ML yaklaşımları, lojistik ve tedarik zincirini dönüştürme potansiyelleri nedeniyle öne çıkmış (Akbari ve Do, 2021) ve lojistik ve TZY’de ML kullanımı popülerlik kazanmıştır (Jomthanachai vd., 2023). Dolayısıyla yapay zeka ve özellikle ML, lojistik ve TZY’de zorlukların aşılması için dönüştürücü bir rol üstlenmiştir (Mohri vd., 2018). Çünkü geleneksel tedarik zinciri sistemleri, çoğunlukla geçmiş verilere ve önceden tanımlanmış modellere dayalı olduğundan modern verilerin hacmi ve karmaşıklığı karşısında esneklik ve uyum konusunda yetersiz kalmaktadır (Pasupuleti vd., 2024). Buna karşılık ML, büyük veri kümelerini analiz ederek tahmine dayalı içgörüler sunmakta ve daha dinamik, esnek ve duyarlı TZY sağlamaktadır (Thakur vd., 2023). Veri kalitesi ve entegrasyon gibi bazı zorluklar bulunmakla birlikte bu engellerin aşılması lojistik ve TZY’nin karar alma süreçlerini ve genel verimliliğini önemli ölçüde geliştirmektedir (Pasupuleti vd., 2024). Dolayısıyla geleneksel tedarik zinciri prosedürleri, büyük miktarda veriyi analiz edip içgörü dolu bilgiler elde etmek için yapay zeka ve ML algoritmalarının gücüyle dönüştürülmüştür ve bu da işletmelerin operasyonlarını, karar alma süreçlerini ve genel verimliliklerini iyileştirmelerine olanak sağlamıştır (Thakur vd., 2023). Böylece ML, lojistik ve tedarik zinciri sektöründeki bazı temel zorlukların üstesinden gelmek için ideal bir çözüm haline getirmiştir (Mohamed-Iliasse vd., 2022).

Büyük veri kümelerini işleme ve tahmine dayalı içgörüler üretme yeteneği nedeniyle özellikle lojistik ve TZY için uygun olan ML (Pasupuleti vd., 2024), lojistik verilerinin tedarik zincirindeki entegrasyonu ve dönüşümü açısından, lojistik veri işlemenin gerçek zamanlı dönüşümünü ve mobil el terminal cihazları kullanılarak tedarik zinciri verilerinin entegrasyonunu gerçekleştirmek için kullanılarak önemli faydalar sağlamaktadır (Lin vd., 2022). Ayrıca ML’nin lojistik sektörüne entegrasyonu, günlük hayatta da dönüştürücü değişiklikler getirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler sayesinde daha hızlı teslimatlar yapılabilen, nakliye maliyetleri düşürülmekte ve daha geniş bir ürün yelpazesi rekabetçi fiyatlarla sunulabilmektedir (Yaiprasert ve Hidayanto, 2024). Ek olarak tedarikçi seçimi, üretim planlama, depo ve envanter yönetimi, satış ve talep tahmini, ulaşım ve dağıtım, araç rotalama ve risk yönetimi gibi TZY’nin önemli yönlerini geliştirmek için ML teknolojilerinden yararlanılmaktadır (Thakur vd., 2023). Dolayısıyla ML, lojistik ve TZY’nin dijitalleşme sürecinde kritik bir yenilikçi unsur olarak öne çıkmaktadır.

### **3. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İLE İLİŞKİLİ MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANIM ALANLARI**

Bu bölümde, ML'nin lojistik ve TZY alanındaki bazı kullanım alanları, sunduğu olanaklar ve sektörel dönüşüme yönelik katkıları ele alınmaktadır.

#### **3.1. Tedarikçi Seçimi**

Tedarik zinciri, bir ürünün tedarikçilerden nihai müşterilere ulaşmasına kadar olan tüm süreç ve bağlantılardan oluşmaktadır (Çebi ve Bayraktar, 2003). Bu süreçte tedarikçiler, TZY'nin en kritik unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Sarkis ve Dhavale, 2015). Bunun temel nedeni, satın alma işlevinin malzeme maliyetlerinin karlılık üzerindeki etkisi, teknoloji yatırımlarındaki artış ve Just-In-Time üretim anlayışının benimsenmesiyle birlikte giderek daha stratejik bir öneme sahip hale gelmesidir (Tirkolaee vd., 2021). Çünkü tedarik birimlerinin temel amacı doğru ürünü, uygun maliyet, kalite, zaman ve kaynaktan temin etmektir (Tirkolaee vd., 2021).

Tedarikçiler, bir işletmenin tedarik ağının belkemiğini oluşturmakta ve işletmeleri operasyonel rekabet gücü açısından stratejik bir konuma yerleştirmektedir (Gidiagba vd., 2025). Dış kaynak kullanımının artmasıyla birlikte işletmeler tedarikçilere daha bağımlı hale gelmiş, dolayısıyla tedarikçi seçimi süreci daha kritik bir önem kazanmıştır (Sarkis ve Dhavale, 2015). Tedarikçi seçimi, satın alma fonksiyonunun temel faaliyetlerinden biri olup, firmaların tedarikçileri belirlediği, değerlendirdiği ve sözleşme yaptığı süreci ifade etmektedir (Tirkolaee vd., 2021).

Tedarikçi seçiminin TZY'nin temel konularından biri olduğu, zira hammadde ve bileşen maliyetlerinin ürünün toplam maliyetinde büyük paya sahip olduğu ve işletmelerin satış gelirlerinin önemli bir bölümünü satın almalara harcadığı belirtilmektedir. Dolayısıyla doğru tedarikçilerin seçimi, satın alma maliyetlerini önemli ölçüde azaltmakta ve işletmenin rekabet gücünü artırmaktadır (Çebi ve Bayraktar, 2003). Bu doğrultuda en uygun tedarikçinin belirlenmesi, tedarik zinciri verimliliği, kalite iyileştirme, maliyet azaltımı ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir role sahiptir (Fallahpour vd., 2017). Bununla birlikte TZY kapsamında uygun tedarikçilerin seçimi genellikle belirsizlik ortamında kapsamlı bir değerlendirme süreci gerektiren karmaşık bir süreçtir (Gidiagba vd., 2025). Benzer şekilde Fallahpour vd. (2017)'de tedarikçi seçiminin karmaşıklık ve belirsizlikle karakterize edilen çok kriterli bir karar verme problemi olduğunu vurgulamaktadır.

Tedarik yönetiminde başarı, müşterilere düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünlerin kısa sürede sunulmasına bağlıdır ve bu da etkin bir tedarikçi seçimi süreciyle mümkün olmaktadır. İşletmeler, tedarikçileri performans, finansal

geçmiş ve diğer pek çok kriterler doğrultusunda puanlama sistemleriyle değerlendirebilmektedir (Ni vd., 2020). Ancak tedarikçi seçimi süreci, genellikle birbirleriyle çelişen kriterlerin dengelenmesini gerektirdiğinden, çok kriterli karar verme teknikleriyle desteklenmektedir. Bununla birlikte tedarikçi ve kriter sayısının artması durumunda bu yöntemlerin yetersiz kaldığı belirtilmektedir (Tirkolae vd., 2021).

Tedarikçi seçimi kararları hem nicel hem de nitel faktörleri içermekte ve çoğu zaman bu faktörler arasında denge kurmayı gerektirmektedir (Çebi ve Bayraktar, 2003). Ancak veri eksiklikleri ve tutarsızlıklar süreci zorlaştırabilmektedir. Bu noktada ML algoritmaları, eksik verilerle başa çıkma ve daha kapsamlı değerlendirmeler yapma esnekliği sayesinde tedarikçi seçiminde daha objektif ve etkili analizler sunmaktadır (Ni vd., 2020). Dolayısıyla tahmine dayalı analizler ve ML algoritmaları, geleneksel ve statik yöntemlere kıyasla daha verimli sonuçlar sağlayabilmektedir (Tirkolae vd., 2021).

ML teknolojileri, TZY'yi dönüştürerek işletmelere operasyonel süreçleri kolaylaştırma, karar alma kalitesini artırma ve genel etkinliği geliştirme açısından yeni fırsatlar sunmaktadır (Thakur vd., 2023). ML algoritmaları, fiyat, kalite, performans ve risk gibi çok boyutlu verileri analiz ederek tedarikçi seçim sürecini kolaylaştırmakta ve tedarikçi ilişkilerini güçlendirmektedir. Ayrıca hava durumu, sosyal medya ve geçmiş performans verilerinden yararlanarak olası riskleri öngörmekte ve bu sayede tedarik zinciri kesintilerini azaltarak daha dayanıklı yapılar oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Thakur vd., 2023).

Sonuç olarak etkin tedarikçi seçimi ve yönetimi, işletmelerin operasyonel mükemmelliğe ulaşmasında temel bir unsurdur. ML yöntemleri, kuruluşların çok boyutlu kriterleri dikkate alarak en uygun tedarikçileri belirlemelerine, güçlü iş ilişkileri geliştirmelerine ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmelerine olanak tanımaktadır (Thakur vd., 2023).

### **3.2. Üretim Yönetimi**

Üretim, doğadaki kaynaklardan elde edilen hammadde ve malzemelerin, insan ihtiyaçlarını karşılamaya daha uygun mal ve hizmet biçimlerine dönüştürülmesini sağlayan fiziksel, kimyasal, mekanik ve benzeri işlemler bütünüdür (Acar ve Köseoğlu, 2014). İşletmeler açısından üretim işlevi, gerekli girdileri belirli amaçlarla uyumlu şekilde arzu edilen çıktılara dönüştürmeyi sağlayan yöntem ve süreçlerin tümünü ifade etmektedir (Acar ve Köseoğlu, 2014). Bu kapsamda gelen lojistik planlaması, doğru miktardaki malzemenin doğru zamanda, doğru yerde ve doğru sırayla en verimli biçimde temin edilmesini amaçlamaktadır (Knoll vd., 2016). Ancak modern üretim sistemleri,

artan talep çeşitliliği, sık süreç değişimleri ve malzeme taşımacılığındaki karmaşıklık nedeniyle giderek daha zor yönetilebilir hale gelmiştir. Bu durum, yanlış veya geciken malzeme akışı, kaynak sıkışıklığı ve insan hataları gibi sorunlara yol açmaktadır (Flores-García vd., 2025).

Küreselleşme, ürün yaşam döngülerindeki değişimler ve kitlesel özelleştirme eğilimleri de üretim sektörünü derinden etkilemektedir. Artan maliyet baskısı ve müşteri taleplerine uyum gerekliliği, üreticileri süreçlerinin bir kısmını tedarikçilere devretmeye yönlendirmiş, bu da küresel tedarik zincirlerinin oluşumunu hızlandırmıştır. Bununla birlikte farklı tedarikçilerden gelen değişken malzeme akışı, montaj hattı teslimatlarında önemli zorluklar yaratmaktadır (Knoll vd., 2016). Bu noktada ML, söz konusu zorlukların aşılmasında geleneksel dijital teknolojilere kıyasla belirgin avantajlar sunmaktadır. ML, büyük veri kümelerinden anlamlı ilişkiler çıkararak talep tahmini, envanter yönetimi, dinamik yönlendirme ve kaynak tahsisini optimize etmeye olanak tanır. Ayrıca değişen koşullara uyum sağlayarak üretim süreçlerindeki aksaklıklara hızlı tepki verilmesini kolaylaştırır. Görsel, metinsel ve işitsel verileri analiz etme yeteneği sayesinde hataları tespit eder, süreç doğruluğunu artırır ve genel operasyonel performansı geliştirir (Flores-García vd., 2025).

Ürün ve malzeme bilgilerindeki belirsizlikler, planlama süreçlerinin sürekli güncellenmesini zorunlu kılmaktadır. Bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, geçmiş verilerin entegrasyonu yoluyla bu planlama süreçlerinin daha etkin yürütülmesine olanak sağlamaktadır (Knoll vd., 2016). Bu doğrultuda ML temelli yaklaşımlar, üretim süreçlerinde planlama, zamanlama ve optimizasyon faaliyetlerinde giderek artan bir rol üstlenmektedir (Woschank vd., 2020).

ML algoritmaları, birden fazla kısıtı dikkate alarak fabrika zamanlamasının doğruluğunu ve üretim planlamasının etkinliğini artırmaktadır. Özellikle siparişe ve stoğa dayalı üretim sistemlerinde, geçmişte manuel olarak yapılan planlamalara kıyasla kısıtların daha dengeli biçimde yönetilmesini sağlayarak tedarik zinciri gecikmelerini azaltmaktadır (Tirkolaee vd., 2021; Ni vd., 2020). ML'nin üretimdeki önemi, malzeme ve bilgi akışına ilişkin verilerin artan erişilebilirliğinden kaynaklanmaktadır. Bu veriler, ML modelleri aracılığıyla yorumlandığında operasyonel verimliliği artırmakta, iç süreçleri optimize etmekte ve görev yapılandırmasını kolaylaştırmaktadır (Flores-García vd., 2025). Bunun yanı sıra ML algoritmaları üretim verilerini analiz ederek verimsizlikleri ve israfı belirlemekte böylece üretim planlamasının optimizasyonuna katkı sağlamaktadır. Gelişmiş algoritmalar, karmaşık üretim süreçlerinin yönetimini kolaylaştırmakta ve tedarik zincirinin olası aksaklıklara karşı uyum kabiliyetini artırarak genel operasyonel verimliliği yükseltmektedir.

(Khedr ve S, 2024). Ayrıca üreticiler özellikle yüksek düzeyde özelleştirilmiş ürünlerde kullanılan bileşenler ve parçalar için ML algoritmalarını uygulayarak tedarik zinciri gecikmelerini önemli ölçüde azaltabilmektedir (Tirkolae vd., 2021).

### **3.3. Depo ve Envanter Yönetimi**

Başarılı bir tedarik zinciri planlaması için etkili depo ve envanter yönetimi büyük önem taşımaktadır (Khedr ve S, 2024). Depolama süreçlerinin etkinliği, doğru ve gerçek zamanlı bilgi akışına bağlıdır. Üretim ve depolama faaliyetlerinde lojistik beraberinde bilgi akışının sürekliliğini de gerektirir (Yu vd., 2019). Ancak depolar genellikle belirsiz envanter girdileriyle karşı karşıya kalmakta bu da belirsizliğin üstesinden gelmek için akıllı karar destek sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır (Ni vd., 2020).

Envanter yönetimi, maliyetleri düşürmeyi, ürün çeşitliliğini artırmayı ve müşteri hizmetlerini de iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Tirkolae vd., 2021) ve arz-talep dengesini koruyarak operasyonel sürekliliğin sağlanmasında, stok yetersizliğinin önlenmesinde ve müşteri taleplerinin zamanında karşılanmasında kritik bir rol oynamaktadır (Lin vd., 2022). Şirketler, minimum stok bulundurma maliyetiyle müşteri taleplerini karşılamak için optimum envanter seviyesini sürdürmeye çalışmaktadır (Khedr ve S, 2024). Ancak talep tahminindeki belirsizlikler, aşırı stoklama, sermaye birikimi ve yüksek yönetim maliyetleri gibi sorunlara yol açabilmektedir. Geleneksel envanter kontrol yöntemleri bu belirsizliklere yeterince uyum sağlayamadığından, stok fazlalığı veya yetersizliği gibi dengesizlikler ortaya çıkmaktadır (Lin vd., 2022).

Geleneksel yöntemlerle envanter hedeflerinin doğru şekilde tahmin edilmesi ve yönetilmesi zordur çünkü bu süreç çoğunlukla yöneticilerin deneyim ve sezgilerine dayanmaktadır. Bu nedenle envanter yönetiminde girdi belirsizlikleri önemli bir sorun oluşturmaktadır. Son yıllarda, bu verimsizliklerin giderilmesi amacıyla yapay zeka ve özellikle ML tabanlı yaklaşımlar giderek daha fazla kullanılmaktadır (Tirkolae vd., 2021). Ayrıca belirsiz teslim süreleri tedarik zinciri verimsizliklerinin başlıca kaynaklarından biri olarak görülmekte olup üreticiler ve distribütörler arasında etkili bilgi paylaşımı, stok fazlalığını önlerken talebi karşılamak açısından kritik bir gerekliliktir (Aylak vd., 2021).

ML algoritmaları, güçlü doğrusal olmayan modelleme yetenekleri sayesinde karmaşık ve belirsiz envanter kontrol sorunlarını çözmede etkili bir araç sunmaktadır. Geleneksel tahmin yöntemleri, sistem dinamiklerinin karmaşıklığı ve doğrusal olmayan ilişkiler nedeniyle doğruluk açısından yetersiz kalırken ML modelleri bu zorlukları aşarak daha isabetli tahminler sağlar (Lin vd.,

2022). Tedarik zincirinin ön ucundaki küçük talep değişikliklerinin, zincirin arka ucundaki firmalarda büyük dalgalanmalara yol açtığı “kamçı etkisi” olarak bilinen olgu, ML tabanlı sistemlerle azaltılabilmektedir (Lin vd., 2022). Bunlara ek olarak ML teknikleri, envanter seviyelerini optimize etmek, maliyetleri düşürmek ve depo operasyonlarında verimliliği artırmak için değerli bilgiler sunmaktadır (Thakur vd., 2023; Giuffrida vd., 2022). Bu algoritmalar, depo veri kümelerinde kalıp tanıma yoluyla gizli verimsizlikleri ortaya çıkarabilir böylece maliyet azaltımı ve kaynak tasarrufu sağlayabilir (Tirkolae vd., 2021). Ayrıca ML, depo düzeni optimizasyonu, rotalama ve planlama gibi alanlarda etkin çözümler üretmekte ve veri ambarlarının daha hızlı analiz edilmesini mümkün kılmaktadır (Thakur vd., 2023; Khedr ve S, 2024).

Günümüzde depolarda tarama ve radyo frekansı veri iletişimi (RFID) gibi teknolojilerin kullanımıyla birlikte doğru konumlandırma ve gerçek zamanlı veri toplama süreçleri hız kazanmıştır. Bu teknolojiler, malların depolanması ve taşınmasında hız, güvenilirlik ve doğruluk sağlamaktadır (Yu vd., 2019). Lojistik ve depolama otomasyonuna yönelik eğilim, esnek taşıma ekipmanları ve dinamik lojistik rotalarıyla desteklenmektedir.

Zhang vd. (2022)’ye göre, ML tabanlı depolama lojistiği iki temel özellikle tanımlanmaktadır:

- **Akıllılık:** Nesnelerin İnterneti (IoT), RFID etiketleri ve sensörler aracılığıyla depo malzemelerinin durumu gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Anormal durumlar otomatik olarak tespit edilerek sistem tarafından yöneticilere bildirilir.
- **Otomasyon:** ML tabanlı sistemler, elde edilen verileri belirli mantıksal kurallar çerçevesinde analiz ederek geçmiş verilerden öğrenir ve en uygun çözümleri sunar. Bu sayede işletme yöneticileri, depo lojistiğinin mevcut durumunu anlık olarak değerlendirebilir ve kişiselleştirilmiş depolama ihtiyaçlarına hızlı, esnek ve doğru kararlarla yanıt verebilir.

### 3.4. Talep ve Satış Yönetimi

Dijitalleşme, müşteri satın alma alışkanlıklarını köklü biçimde değiştirerek talep ve satış bilgilerinin daha belirsiz ve öngörülemez hale gelmesine neden olmuştur. Bu durum, işletmelerin rekabet güçlerini koruyabilmeleri için tedarik zincirlerini daha esnek, veri odaklı ve uyarlanabilir biçimde yönetmelerini zorunlu kılmaktadır (Ni vd., 2020). Tedarik zincirinin verimliliği, şeffaflığı, dayanıklılığı ve duyarlılığı arttıkça, işletmelerin gelir ve karlılık düzeylerinin de artacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda talep tahmininin doğruluğu, tedarik zinciri performansını doğrudan etkileyen ve özellikle “kamçı etkisi”nin azaltılmasında kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle

daha doğru tahminler üretebilecek güvenilir ve etkin tahmin modellerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır (Aamer vd., 2021).

TZY’de planlama süreçleri büyük ölçüde satış ve talep tahminine dayanmaktadır. Ancak talep tahmini, değişken müşteri davranışları, kısa ürün yaşam döngüleri ve dış çevresel faktörler nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (Khedr ve S, 2024). Geleneksel yöntemler, çok sayıda değişken arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri yeterince modelleyemediğinden, talep tahmininde hata payı artmaktadır (Ni vd., 2020). Bu noktada, ML teknikleri doğrusal olmayan analiz yetenekleri sayesinde talep, satış ve envanter tahminlerinin doğruluğunu artırarak performans optimizasyonu, maliyet azaltımı ve karlılığın yükselmesini sağlamaktadır (Tirkolae vd., 2021).

Artan veri paylaşımıyla birlikte ML, TZY’de giderek daha önemli bir araç haline gelmiştir (Ni vd., 2020). Özellikle lojistik alanında, talep eğilimlerinin öngörülmesi ML’nin en yaygın uygulama alanlarından biridir (Giuffrida vd., 2022). ML algoritmaları, geçmiş satış verileri, mevsimsel dalgalanmalar ve dışsal faktörleri analiz ederek talep planlamasında yüksek doğrulukta tahminler sunar (Thakur vd., 2023).

Geleneksel tahmin yöntemleriyle karşılaştırıldığında ML, büyük veri kümelerindeki eksiklikleri giderme ve talep eğrilerini daha gerçekçi biçimde modelleme yeteneğine sahiptir (Ni vd., 2020). Bu nedenle ML, TZY’de talep tahmini için yıkıcı bir yenilik olarak görülmekte ve geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha güçlü, dinamik ve uyarlanabilir tahmin modelleri sunmaktadır (Aamer vd., 2021). ML, geçmiş veriler ve dış etkenleri analiz ederek stok fazlası ve yetersiz stok sorunlarını azaltmakta ayrıca kısa ürün yaşam döngüsüne, değişken talebe ve sınırlı tarihsel veriye sahip ürünlerde etkili çözümler sunmaktadır (Ni vd., 2020; Tirkolae vd., 2021; Khedr ve S, 2024).

### **3.5. Dağıtım ve Planlama**

Dağıtım ve planlama, tedarik zincirinin temel halkaları arasında yer almakta olup bilgi akışı ile lojistik arasındaki ilişkinin somut bir yansıması olarak değerlendirilmektedir. Etkin bir dağıtım süreci için malların zamanında, tam olarak ve belirlenen süre içinde teslim edilmesi gerekirken; aynı zamanda teslimat maliyetlerinin minimize edilmesi de işletmeler açısından kritik öneme sahiptir (Lin vd., 2022).

Ürünlerin müşterilere zamanında ulaştırılabilmesi için en uygun taşıma rotasının belirlenmesi, insan kapasitesinin ötesinde karmaşık analizler gerektirmektedir ve TZY’de araç yönlendirme problemleri, en yaygın uygulama alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır (Ni vd., 2020). Bu

noktada ML algoritmaları, büyük ve çeşitli veri kümelerini işleyerek rotalama, ulaşım modelleri, tüketici davranışları ve altyapı unsurlarını bütüncül biçimde analiz edebilmekte ve böylece daha etkin dağıtım stratejileri geliştirilmesini sağlamaktadır (Tirkolaee vd., 2021).

ML tabanlı yöntemler, IoT desteklerine dayalı trafik koşullarını analiz edebilmektedir (Woschank vd., 2020). Bununla birlikte gerçek zamanlı trafik koşulları ve teslimat kısıtlamaları göz önünde bulundurarak dinamik araç rotalaması gibi uygulamalarla gerçek zamanlı verileri dikkate alarak taşıma maliyetlerini azaltmakta ve teslimat sürelerini iyileştirmektedir (Thakur vd., 2023). Dolayısıyla ML uygulamaları, lojistik dağıtım ve planlamada performansı artırmak için kullanılmaktadır.

Uygulama örnekleri arasında, DHL'nin hava taşımacılığında gecikmeleri bir hafta önceden tahmin eden ML tabanlı sistemleri ve Borusan Lojistik'in bulut bilişim teknolojisiyle geliştirdiği dijital lojistik platformu eTA, ML'nin lojistik dağıtım ve planlamada performans artışı, maliyet optimizasyonu ve operasyonel verimlilik sağlamadaki potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır (Aylak vd., 2021).

### **3.6. Risk Yönetimi**

Risk, işletmelerin hedeflerine ulaşmasını engelleyebilecek tehditleri veya fırsatları ifade ederken; tedarik zinciri riski, tedarikçiden nihai tüketiciye kadar bilgi, malzeme ve ürün akışıyla ilişkili tüm belirsizlikleri kapsamaktadır (Özgüner ve Özgüner, 2019). Tedarik zincirleri doğal afetler, ekonomik krizler, savaşlar, ulaşım kesintileri ve benzeri dışsal faktörler karşısında oldukça hassas bir yapıya sahiptir (Özgüner ve Aytekin, 2021; Khedr ve S, 2024). Günümüzün rekabetçi ve hızla değişen pazar koşulları, işletmeleri belirsizliklerle dolu dinamik ortamlarda faaliyet göstermeye zorlamakta artan müşteri beklentileri ise üretim süreçlerini daha kısa, esnek ve maliyet odaklı hale getirerek tedarik zinciri risklerini artırmaktadır (Özgüner ve Aytekin, 2021). Bununla birlikte belirsizlik ve riskleri yönetmek, tedarik zinciri tasarımı ve planlamasının başarısında önemli bir rol oynamaktadır (Akbari ve Do, 2021).

Tedarik zinciri risk yönetimi, küresel ölçekte karmaşık hale gelen bilgi ve iletişim teknolojileri yapısı içinde ortaya çıkan riskleri tespit etme, analiz etme ve yönetme süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, tedarik zinciri boyunca mal ve hizmetlerin bütünlüğüne, güvenilirliğine ve özgünlüğüne yönelik tehditleri belirleyip azaltmayı amaçlamaktadır (Emrouznejad vd., 2023). Başka bir ifade ile tedarik zinciri risk yönetimi, sağlamlığı ve esnekliği artırmayı, tedarik zincirinin kırılganlığını azaltmayı ve sürekliliği ve karlılığı garanti etmeyi amaçlayan riskleri değerlendirmek, tanımlamak, izlemek ve azaltmak

için bir tedarik zincirinde yer alan tüm tarafların koordineli ve işbirlikçi çabalarını ifade etmektedir (Tirkolaee vd., 2021).

Tedarik zincirlerinde karşılaşılan başlıca riskler; ekonomik, politik, çevresel, üretim, finansal, yasal, depolama ve nakliye riskleri ile kalite sorunları, siber tehditler, transit gecikmeleri ve doğal afetlerdir. Ayrıca yetersiz proje yönetimi, iş kapsamındaki değişiklikler ve operasyonel hatalar da tedarik zincirlerinde ciddi finansal kayıplara yol açabilmektedir (Emrouznejad vd., 2023). Buna rağmen risk yönetimi ve azaltma, tedarik zinciri yöneticileri için kritik bir zorluktur (Khedr ve S, 2024). Çünkü artan teknoloji bağımlılığı, yüksek üretim maliyetleri ve karmaşık tedarik ilişkileri risk yönetimini zorlaştırmaktadır (Özgüner ve Özgüner, 2019).

Bu noktada ML, tedarik zinciri risklerinin tespiti, değerlendirilmesi ve azaltılmasında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Khedr ve S, 2024). ML modelleri, büyük veri analitiğiyle entegre edilerek riskleri iki temel aşamada ele almaktadır (Tirkolaee vd., 2021):

- **Risk tanımlama:** Sınıflandırma ve kümeleme algoritmaları kullanılarak potansiyel risklerin belirlenmesi.
- **Risk değerlendirmesi ve müdahale:** Yapay sinir ağları ve Bayes ağları gibi ML teknikleriyle risklerin analiz edilmesi ve uygun önleyici stratejilerin geliştirilmesi.

Bunun yanı sıra ML, denetim süreçlerini otomatikleştirerek finansal dolandırıcılık tespitini geliştirmekte, anormallikleri gerçek zamanlı olarak belirlemekte ve ayrıcalıklı erişimlerin kötüye kullanılmasını önleyerek tedarik zincirinin güvenliğini ve bütünlüğünü güçlendirmektedir (Khedr ve S, 2024).

### 3.7. Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Kalkınma

Döngüsel ekonomi hem çevresel hem de toplumsal fayda yaratmayı hedefleyen sürdürülebilir bir ekonomik modeldir (Neves ve Marques, 2022). Bu model, mevcut ve gelecekteki nesillerin yararını gözeterek ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmayı ve azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım süreçleriyle kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesini amaçlamaktadır (Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022). Sürdürülebilir kalkınma ise “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma” modelini ifade etmektedir (IISD, 2025). Dolayısıyla döngüsel ekonomi, bu anlayışın temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir ve küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliği destekleyen stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Neves ve Marques, 2022; Koç Ustalı, 2023). Bununla birlikte döngüsel

ekonomi, kaynak kullanımı, geri kazanım, geri dönüşüm, yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve yenileme gibi faaliyetleri kapsayan ve tedarik zincirlerindeki ters akış süreçlerinin sürekliliğine katkı sağlayan bütüncül bir sistemdir (Tirkolaee vd., 2021).

Bu kapsamda yapay zeka ve ML'nin TZY'ye entegrasyonu, sürdürülebilirlik ve yeşil dönüşüm hedeflerine önemli katkılar sunmaktadır. Örneğin; emisyon ve maliyet unsurlarını dikkate alarak yeşil ulaşım alternatiflerinin seçimi ve araç rotalarının optimize edilmesinde yapay zeka tabanlı modellerin kullanımı, çevresel etkilerin azaltılmasına ve sürdürülebilirlik performansının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Thakur vd., 2023). Ayrıca ML, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz yetenekleri sayesinde insan müdahalesini azaltarak süreçlerin verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca geleneksel TZY'de kararlar genellikle önyargılar ve mantıksız varsayımlardan etkilenirken, ML nesnel ve veri temelli analizler sunarak daha doğru planlama ve karar alma sağlamaktadır. Bununla birlikte ML belirsizliklerin yönetilmesi ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin oluşturulması açısından kritik bir rol üstlenmektedir (Tirkolaee vd., 2021).

Döngüsel ekonominin temel unsurları, ML tekniklerinin uygulanabileceği üç ana boyutta ele alınmaktadır (Tirkolaee vd., 2021):

- **Döngüsel malzemeler, bileşenler ve ürünler tasarlamak:** ML araçları, hızlı prototipleme ve test süreçleriyle yeni malzeme ve ürünlerin geliştirilmesini kolaylaştırabilir.
- **Döngüsel iş modelleri oluşturmak:** ML, akıllı talep tahmini, dinamik fiyatlandırma, envanter yönetimi ve tahmine dayalı bakım süreçleriyle ürün dolaşımını optimize edebilir.
- **Döngüsel altyapıyı optimize etmek:** ML, bileşenlerin yeniden üretimi, ürünlerin ayrıştırılması ve ters lojistik altyapısının güçlendirilmesi yoluyla malzeme geri dönüşümünü destekleyebilir.

#### **4. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİNİN ZORLUKLARI VE FIRSATLARI**

ML, lojistik ve TZY'de uygulandığında önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak veri kalitesi, model şeffaflığı, yüksek maliyet, beceri eksikliği ve entegrasyon güçlükleri gibi faktörler, ML uygulamalarını zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan ML, doğru uygulandığında çeşitli alanlarda önemli fırsatlar sunarak lojistiği ve tedarik zincirini daha esnek ve rekabetçi hale getirebilmektedir. Aşağıda lojistik ve TZY'de ML kullanımının bazı zorlukları sunulmaktadır (Akbari ve Do, 2021; Khedr ve S, 2024; Falkner vd., 2024):

- ML, karmaşık sorunların çözümünde giderek daha fazla kullanılan bir araç haline gelmiştir. Ancak ek iş mantığı gerektiren kullanım senaryolarına entegre edilmesi önemli zorluklar doğurmaktadır. Farklı modellerin eğitimi, yönetimi ve depolanması, çeşitli çerçeve ve programlama dillerinin bir arada kullanılmasını zorunlu kılmakta bu da sistemler arası iletişimi karmaşıklştırmaktadır.
- Kuruluşlar, genellikle ML konusunda yetkin insan kaynağı eksikliği ve yetersiz eğitim nedeniyle ciddi beceri açıklarıyla karşı karşıyadır. Bununla birlikte ML teknolojilerinin benimsenme sürecinde maliyet önemli bir engel teşkil etmektedir. Finansal kısıtlamalar ile beceri açığının birleşimi, kaynak yetersizliklerine yol açarak tedarik zinciri karar vericilerinin ML yatırımlarına temkinli yaklaşmasına neden olmaktadır.
- ML'nin etkinliği büyük ölçüde yüksek kaliteli ve kapsamlı veri kümelerine bağlıdır. Ancak tedarik zinciri yöneticileri çoğu zaman bu gereksinimleri karşılayacak düzeyde veri kalitesine ve miktarına ulaşmakta güçlük çekmektedir. Güvenilir veri kaynaklarını belirleme, veriyi temizleme ve uygun biçimde yapılandırma süreçleri oldukça zahmetli ve maliyetlidir. Ayrıca geniş ölçekli veri kümelerinin depolanması ve yönetimi de ek bir zorluk oluşturmaktadır.
- Veri kalitesindeki eksiklikler, ML modellerinde şeffaflık, güvenlik ve güven sorunlarını beraberinde getirmektedir. Karar ağaçları ve puan kartları gibi bazı teknikler anlaşılabilir olsa da sinir ağları gibi karmaşık modeller “kara kutu” niteliği taşımakta ve kararların ardındaki mantığın yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, karar vericiler arasında şüphe ve güven eksikliğine yol açmakta, veri gizliliği endişeleri nedeniyle paydaşların veri paylaşımına isteksiz yaklaşmasına neden olmaktadır.
- Tedarik zinciri yönetiminde ML optimizasyonu, etkili bir eğitim süreci için yüksek kaliteli ve geniş veri kümelerinin yanı sıra önemli hesaplama kaynakları gerektirir. Veriler genellikle sensörler, üçüncü taraf sağlayıcılar ve çeşitli operasyonel sistemlerden toplandığı için doğruluk, bütünlük ve tutarlılığın sağlanması kritik öneme sahiptir. Düşük veri kalitesi, hatalı tahminlere, yetersiz kararlara ve güvenilirmez içgörülere yol açabilir.
- ML'nin tedarik zincirine entegrasyonu, veri bilimi, operasyon yönetimi ve alan bilgisi gibi farklı uzmanlıkların bir araya geldiği çok disiplinli ekipleri gerektirir. Bu durum, yetenek yönetimi ve nitelikli personel istihdamında zorluklar yaratmaktadır. Ayrıca tedarik zinciri ağlarının karmaşıklığı, çok sayıda süreç, paydaş, kısıtlama ve değişkeni barındırması nedeniyle ML modellerinin entegrasyonunu daha da güçleştirmektedir. Veri değişkenliğinin

yönetimi, gerçek zamanlı işlem gereksinimleri ve yüksek hesaplama maliyetleri bu sürecin başlıca engellerindendir.

- Son olarak ML tabanlı modellerin sınırlı açıklanabilirliği, tedarik zinciri profesyonelleri arasında güven sorununa yol açmaktadır. Şeffaflık eksikliği, teknolojinin benimsenme hızını yavaşlatmakta ve yorumlanabilir model çıktıların önemini artırmaktadır. Bunun yanında, birçok kuruluşun eski sistemleriyle olan uyumsuzluk, veri yapılarındaki farklılıklar ve özelleştirme gereksinimleri de entegrasyon sürecini zorlaştırmaktadır.

Lojistik ve TZY’de ML uygulamalarının bazı fırsatları ise aşağıda sunulmaktadır (Khedr ve S, 2024; Pasupuleti vd., 2024; Yaiprasert ve Hidayanto, 2024):

- ML teknolojileri, tedarikçi seçimi ve izleme süreçlerini geliştirerek TZY’de önemli bir rol oynamaktadır. Performans, kalite, maliyet ve güvenilirlik gibi kriterleri değerlendirerek daha bilinçli kararlar alınmasını sağlar. Lojistikte ise trafik, hava durumu, teslimat programı ve araç kapasitesi gibi faktörleri dikkate alarak ulaşım rotalarını optimize eder, bu da yakıt tüketimini azaltır, teslimat sürelerini kısaltır ve operasyonel maliyetleri düşürür.
- ML, işletmelerin operasyonel verimliliğini artırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve müşteri memnuniyetini yükseltmeyi hedefleyerek karlılığı artırır.
- Lojistikte ML’nin uygulanması, ulaşım planlamasını optimize ederek karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlar ve çevre dostu bir seçenek sunar.
- ML’nin tedarik zinciri yönetiminde kullanımı, yalnızca operasyonel verimlilik sağlamakla kalmaz aynı zamanda da stratejik karar verme kapasitesini de güçlendirir. Bu sayede kuruluşlar, gelecekteki eğilimleri tahmin edebilir, riskleri önceden belirleyebilir ve uzun vadeli hedeflerle uyumlu proaktif stratejiler geliştirebilir.
- ML modelleri, farklı kaynaklardan gelen büyük veri kümelerini analiz ederek karar vericilere tedarik zinciri ekosistemine ilişkin bütüncül bir bakış açısı sunar.
- ML, tedarik zincirlerinde çeviklik ve uyarlanabilirliği destekleyerek, işletmelerin değişen pazar koşullarına, teknolojik gelişmelere ve müşteri beklentilerine hızla yanıt vermesini sağlar. Bu esneklik, küresel rekabet ortamında sürdürülebilir başarı için kritik bir avantajdır.
- ML’nin yaygınlaşması, veri bilimi ve analitik beceriler gerektiren yeni iş fırsatları yaratmakta ve lojistik sektörünü destekleyen yan endüstrilerin büyümesini hızlandırmaktadır.
- Tedarikçi seçiminde ML, çok sayıda kriteri değerlendirerek en uygun tedarikçilerin belirlenmesini sağlar ve karar verme doğruluğunu artırır.

- Üretim süreçlerinde ML, operasyonları sadeleştirir, bakım gereksinimlerini önceden tahmin eder ve duruş sürelerini azaltarak daha yüksek verimlilik ve maliyet tasarrufu sağlar.

Tablo 2’de, yukarıda sıralanan zorluklar fırsatlar kısa maddeler halinde sunulmuştur.

**Tablo 2.** Lojistik ve TZY’de ML Uygulamalarının Zorlukları ve Fırsatları

| <b>Zorluklar</b>                                                                                                           | <b>Fırsatlar</b>                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Model Yönetimi:</b> Farklı ML modellerinin eğitimi, yönetimi ve depolanması karmaşık ve zaman alıcıdır.                 | <b>Tedarikçi Seçimi:</b> ML, çok kriterli analizle en uygun tedarikçileri belirler.                                                              |
| <b>Beceri Açığı:</b> Çalışanların ML teknikleri konusunda yetersiz bilgisi ve uzman personel eksikliği yaygındır.          | <b>Verimlilik Artışı:</b> Operasyonel süreçleri optimize eder, maliyetleri düşürür.                                                              |
| <b>Yüksek Maliyet:</b> ML teknolojilerinin uygulanması finansal olarak maliyetli olabilir ve yatırımları sınırlayabilir.   | <b>Maliyet Tasarrufu:</b> ML, kaynak kullanımını optimize ederek maliyetleri azaltır.                                                            |
| <b>Veri Yetersizliği:</b> Yüksek kaliteli ve büyük veri kümelerine erişim zordur, bu da model performansını düşürür.       | <b>Stratejik Karar Verme:</b> Gelecekteki eğilimleri tahmin ederek proaktif stratejiler sunar.                                                   |
| <b>Veri Güvenliği:</b> Paydaşlar veri gizliliği ve güvenliği nedeniyle veri paylaşımında isteksiz davranabilir.            | <b>Sürdürülebilirlik:</b> Ulaşım ve lojistik süreçlerinde karbon ayak izini azaltır, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınmaya fayda sağlar. |
| <b>Şeffaflık Eksikliği:</b> Bazı ML modelleri “kara kutu” niteliği taşıyarak karar süreçlerinin anlaşılmasını zorlaştırır. | <b>Risk Yönetimi:</b> Tedarik zincirini aksaklık ve kayıplara karşı korur.                                                                       |
| <b>Entegrasyon Zorluğu:</b> ML modellerinin mevcut üretim ve operasyon sistemlerine entegrasyonu karmaşıktır.              | <b>Çeviklik ve Uyarlanabilirlik:</b> Hızlı değişen pazar koşullarına ve müşteri taleplerine uyum sağlar.                                         |
| <b>Karmaşık Ağ Yapısı:</b> Tedarik zincirinin çok sayıda süreç, paydaş ve değişkeni, ML uygulamalarını zorlaştırır.        | <b>Üretim Optimizasyonu:</b> Üretim süreçlerini iyileştirir, maliyetleri azaltır.                                                                |
| <b>Hesaplama Maliyeti:</b> Büyük veri ve karmaşık modeller, yüksek hesaplama kaynakları ve maliyet gerektirir.             | <b>Yeni İş Fırsatları:</b> Veri bilimi ve analitik becerilerle yeni iş alanları yaratır.                                                         |

**Kaynak:** Akbari ve Do, 2021; Khedr ve S, 2024; Falkner vd., 2024; Khedr ve S, 2024; Pasupuleti vd., 2024; Yaiprasert ve Hidayanto, 2021)’den esinlenerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

## 5. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER

DHL'in Supply Watch adlı erken uyarı sistemi, tedarik zincirindeki olası aksaklıkları ML ve doğal dil işleme teknolojileriyle tespit ederek işletmeleri maddi ve itibari kayıplardan korumayı amaçlamaktadır. Resilience360 platformunun bir parçası olan bu sistem, çevrimiçi ve sosyal medya kaynaklarından elde edilen verileri analiz ederek kalite sorunları, çevresel etkiler, finansal zorluklar, işçi anlaşmazlıkları ve arz sıkıntıları gibi 140'tan fazla risk kategorisini izlemektedir. Supply Watch, 300.000'den fazla çevrimiçi kaynaktan gelen yaklaşık 30 milyon içeriği değerlendirerek potansiyel tedarikçi sorunlarını erken aşamada belirleyebilmektedir. Gelişmiş dil analizi sayesinde sistem, çevrimiçi tartışmaların içeriğini ve bağlamını anlayarak riskle ilgili eğilimleri yorumlayabilmektedir. Gerçek zamanlı çalışan bu sistem, geleneksel arama yöntemlerinden farklı olarak erken uyarı ve hızlı müdahale olanağı sağlayarak tedarik zinciri kesintilerinden doğabilecek finansal ve itibari zararların önüne geçmektedir (UTİKAD, 2017).

Almanya'nın en büyük eczane zincirlerinden Drogerie Markt, yapay zeka ve ML algoritmaları sayesinde talep tahminlerinde yüksek doğruluk elde ederek operasyonel verimliliğini artırmıştır. Sistem, geçmiş satış verilerini ve mevsimsellik faktörlerini analiz ederek stok tutma brimi düzeyinde altı aylık talep tahminleri oluşturmakta ve bu sayede ürün bulunabilirliği ile teslimat güvenilirliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Yapay zeka destekli tahminler sayesinde fazla stok seviyeleri azalmakta, depolama maliyetleri düşmekte ve müşteri memnuniyeti artmaktadır. Ayrıca endüstriyel ortaklar, bu öngörüler sayesinde daha erken planlama ve sipariş yönetimi yapabilmekte böylece tedarik zinciri genelinde daha esnek ve sürdürülebilir bir yapı oluşturulmaktadır (Wenzel vd., 2019).

Siemens Mobility, karayolu trafiği, e-bisiklet filoları ve intermodal hareketlilik süreçlerinin daha etkin yönetimi amacıyla ITS Digital Lab uygulamalarını ve hizmetlerini test etmektedir. Bağlantılı araçlar, altyapı sistemleri ve akıllı telefonlar aracılığıyla gerçek zamanlı veri üreten kullanıcılar, platforma sürekli olarak büyük miktarda bilgi sağlamaktadır. Bu kapsamlı ve sürekli büyüyen veri kaynağı, uygulanabilir mobilite hizmetlerinin geliştirilmesine ve optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Siemens Mobility, yalnızca yol ağlarını değil, aynı zamanda ağ içerisindeki belirli filoları ve farklı ulaşım modlarındaki yolcu hareketlerini yöneten Dengeli İntermodal Mobilite Ekosistemi kapsamında çözüm üretmeye odaklanmaktadır (Woschank vd., 2020).

Ekol Lojistik Lavanta Tesisi, yüksek kalite standartlarına sahip altyapısı ve sunduğu çeşitli hizmetlerle dikkat çekmektedir. Tesiste serbest depolama, antrepo, katma değerli hizmetler, sipariş hazırlama, iade elleçleme ve shuttle taşıma faaliyetleri yürütülmektedir. Gelişmiş otomasyon teknolojileriyle donatılan tesiste, otomatik depolama ve geri çağırma sistemi sayesinde elleçleme işlemlerinin %85'i insan gücüne ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilmektedir. Otomasyonla entegre çalışan asansör sistemleri, katlar arasındaki palet hareketlerini tamamen otomatik hale getirmektedir. Ayrıca sevkiyatı yapılacak ürünlerin tam paletleri 50 farklı düşüş noktasında insan müdahalesi olmadan hazırlanırken, karma palet toplama işlemleri sesli yönlendirme sistemi (pick by voice) ile hızlı ve hatasız biçimde tamamlanmaktadır. Bu ileri otomasyon altyapısı sayesinde, geleneksel yöntemlere kıyasla %60'a varan personel tasarrufu, %40 oranında alan verimliliği ve birim maliyetlerde %12 azalma elde edilmektedir (Ekol Lojistik, 2025).

## SONUÇ

Bu çalışma, 1940'lı yıllardan itibaren araştırılmaya başlanmış ve günümüzde büyük bir ilgi alanına dönüşmüş olan ML'nin lojistik ve TZY alanındaki yerini ve uygulamalarını kapsamlı biçimde ele alarak bu teknolojilerin sunduğu fırsatları ve karşılaşılan zorlukları değerlendirmektedir. Çalışmada ML'nin temel algoritmaları ve teknikleri tanıtılmış, lojistik ve TZY arasındaki ilişki açıklanmış, alandaki uygulama örnekleri, karşılaşılan zorluklar ve potansiyel fırsatlar sistematik bir çerçevede incelenmiştir.

Son yıllarda yapay zeka ve ML teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, TZY üzerinde dönüştürücü etkiler yaratmıştır. Bu teknolojiler, büyük veri setlerini işleme, anlamlı içgörüler üretme ve çeşitli süreçleri otomatikleştirme kabiliyeti sayesinde lojistik ve TZY'nin hemen her alanında etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Thakur vd., 2023). ML tabanlı yaklaşımlar; tedarikçi seçimi, üretim planlaması, depolama ve envanter yönetimi, talep tahmini, satış planlaması, dağıtım, risk yönetimi ile sürdürülebilirlik gibi çok sayıda faaliyet alanında önemli katkılar sunmaktadır (Akbari ve Do, 2021; Tirkolae ve vd., 2021; Thakur vd., 2023; Khedr ve S, 2024). Örneğin, ML tabanlı tedarikçi seçim modelleri güvenilir ve maliyet etkin tedarikçilerin belirlenmesini sağlayarak tedarik zinciri risklerini azaltmakta ve yönetim verimliliğini artırmaktadır (Thakur vd., 2023). Ayrıca geçmiş verilerin sosyal medya eğilimleri, hava koşulları ve yerel etkinlikler gibi gerçek zamanlı değişkenlerle bütünleştirilmesi, son derece kişiselleştirilmiş talep tahminlerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, işletmelerin talep

dalgalanmalarına daha hızlı yanıt verebilmesini ve envanter seviyelerini optimum düzeyde yönetebilmesini mümkün kılmaktadır (Khedr ve S, 2024). Bunun yanında yapay zeka destekli akıllı sipariş karşılama sistemleri sipariş doğruluğunu artırmakta, işlem sürelerini kısaltmakta ve müşteri memnuniyetini güçlendirmektedir (Thakur vd., 2023). ML ayrıca teslimat rotalarının optimize edilmesi, boş taşıma oranlarının azaltılması ve çevre dostu lojistik çözümlerinin desteklenmesi yoluyla sürdürülebilir lojistik uygulamalarının gelişimine katkı sağlamaktadır (Khedr ve S, 2024). Ek olarak, yapay zeka destekli lojistik yönetim sistemleri rota optimizasyonunu, yük dengelemeyi ve gerçek zamanlı görünürlüğü iyileştirerek operasyonların kolaylaştırılmasını ve nakliye gecikmelerinin azaltılmasını sağlamaktadır (Thakur vd., 2023).

Lojistik ve TZY’de ML’nin benimsenmesi bazı yapısal ve operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Veri kalitesi sorunları, model şeffaflığına ilişkin endişeler, yüksek maliyetler, yetkin insan kaynağı eksikliği ve sistem entegrasyonu güçlükleri bu teknolojilerin yaygın kullanımını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Ancak tüm bu zorluklara rağmen öngörücü analiz, talep tahmini, envanter optimizasyonu, akıllı rotalama ve gerçek zamanlı izleme gibi uygulamaların sağladığı stratejik avantajlar, firmaları ML teknolojilerini benimsemeye teşvik etmektedir. Günümüzde ulusal ve uluslararası ölçekte faaliyet gösteren birçok işletme, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerinde ML modellerini başarıyla uygulayarak önemli rekabet avantajları elde etmektedir. Bununla birlikte bu teknolojilerin etkin şekilde benimsenebilmesi için firmaların dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırması, veri altyapılarını güçlendirmesi ve insan kaynağını bu alanda yetkinleştirmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0 paradigması kapsamında yürütülen çalışmalar, bu dönüşümün temellerini oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, günümüz dinamik ve değişken tedarik zinciri ortamında, ML teknolojilerinin kullanımı giderek daha pratik ve stratejik hale gelmektedir. Bu doğrultuda, ML’nin lojistik ve TZY süreçlerinde karar verme kalitesini artırarak verimlilik, esneklik ve sürdürülebilirliği güçlendireceği ve dolayısıyla lojistik ve TZY’nin geleceğini şekillendiren temel unsurlardan biri olmaya devam edeceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aamer, A. M., Putu, L., Yani, E., Made, I., ve Priyatna, A. (2021). Data Analytics in the Supply Chain Management: Review of Machine Learning Applications in Demand Forecasting. *Operations and Supply Chain Management*, 14(1), 1–13.
- Acar, A. Z. ve Köseoğlu, A. M. (2014). *Lojistik Yaklaşımıyla Tedarik Zinciri Yönetimi* (1. Basım). Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Akbari, M., ve Do, T. N. A. (2021). A Systematic Review of Machine Learning in Logistics and Supply Chain Management: Current Trends and Future Directions. In *Benchmarking*, 28(10), 2977–3005. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2020-0514>
- Aylak, B. L., Oral, O., ve Yazici, K. (2021). Using Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Logistics. In *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(1), 74–93. <https://doi.org/10.31202/ecjse.776314>
- Bu, S. (2021). Logistics Engineering Optimization Based on Machine Learning and Artificial Intelligence Technology. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 40(2), 2505–2516. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189244>
- Çebi, F., ve Bayraktar, D. (2003). An Integrated Approach for Supplier Selection. *Logistics Information Management*, 16(6), 395–400. <https://doi.org/10.1108/09576050310503376>
- Ekol Lojistik, (2025). Depo Yönetimi Örnek Çözümü. <https://archive.ekol.com/tr/lojistik/depo-yonetimi/ornek-cozum/>, Erişim tarihi: 14.10.2025.
- Emerson, D., Zhou, W., ve Piramuthu, S. (2009). Goodwill, Inventory Penalty, and Adaptive Supply Chain Management. *European Journal of Operational Research*, 199(1), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.11.007>
- Emrouznejad, A., Abbasi, S., ve Sıcakyüz, Ç. (2023). Supply Chain Risk Management: A Content Analysis-Based Review of Existing And Emerging Topics. *Supply Chain Analytics*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100031>
- Erturgut, R., ve Koç Ustalı, N. (2021). Lojistik ve Savunma Lojistiği: Etimolojik Bir İnceleme. 1st International Eurasian Conferences on Educational and Social Studies, October 22 - 24, 202. Antalya, Turkey.
- Falkner, D., Bögl, M., Gattinger, A., Stainko, R., Zenisek, J., ve Affenzeller, M. (2024). Integrating Machine Learning into Supply Chain Management: Challenges and Opportunities. *Procedia Computer Science*, 232, 1779–1788. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.176>
- Fallahpour, A., Udency Olugu, E., Nurmaya Musa, S., Yew Wong, K., ve Noori, S. (2017). A Decision Support Model for Sustainable Supplier Selection in

- Sustainable Supply Chain Management. *Computers and Industrial Engineering*, 105, 391–410. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.005>
- Flores-García, E., Hoon Kwak, D., Jeong, Y., ve Wiktorsson, M. (2025). Machine Learning in Smart Production Logistics: A Review of Technological Capabilities. In *International Journal of Production Research*, 63(5), 1898–1932. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2381145>
- Gidiagba, J. O., Tartibu, L. K., ve Okwu, M. O. (2025). A Systematic Review of Machine Learning Applications in Sustainable Supplier Selection. In *Decision Analytics Journal*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100547>
- Gil-Lamata, M., ve Latorre-Martínez, M. P. (2022). The Circular Economy and Sustainability: A Systematic Literature Review. *Cuadernos de Gestion*, 22(1), 129–142. <https://doi.org/10.5295/CDG.211492MG>
- Giuffrida, N., Fajardo-Calderin, J., Masegosa, A. D., Werner, F., Steudter, M., ve Pilla, F. (2022). Optimization and Machine Learning Applied to Last-Mile Logistics: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14095329>
- Jomthanachai, S., Wong, W. P., ve Khaw, K. W. (2023). An Application of Machine Learning to Logistics Performance Prediction: An Economics Attribute-Based of Collective Instance. *Computational Economics*. <https://doi.org/10.1007/s10614-023-10358-7>
- IISD, (2025). Sustainable Development, <https://www.iisd.org/mission-and-goals/sustainable-development>, Erişim tarihi: 08.10.2025.
- Khedr, A. M., ve S, S. R. (2024). Enhancing Supply Chain Management with Deep Learning and Machine Learning Techniques: A Review. In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(4), <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100379>
- Knoll, D., Prüglmeier, M., ve Reinhart, G. (2016). Predicting Future Inbound Logistics Processes Using Machine Learning. *Procedia CIRP*, 52, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.078>
- Koç Ustalı, N. (2023). Döngüsel Ekonomi ve Lojistik. F. Merdivenci ve M. Tekin (Ed.), *Lojistiğin Geleceği-2* içinde (ss. 62- 89). Duvar Yayınevi, İzmir.
- Koç Ustalı, N., Tosun, N., ve Tosun, Ö. (2021). Makine Öğrenmesi Teknikleri İle Hisse Senedi Fiyat Tahmini. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.636017>
- Lin, H., Lin, J., ve Wang, F. (2022). An Innovative Machine Learning Model for Supply Chain Management. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100276>
- Mohamed-Iliasse, M., Loubna, B., ve Abdelaziz, B. (2022). Machine Learning in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *International*

- Journal of Supply and Operations Management*, 9(4), 398–416.  
<https://doi.org/10.22034/ijsum.2021.109189.2279>
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., ve Talwalkar, A. (2018). *Foundations of Machine Learning* (Second Edition). The MIT Press.
- Neves, S. A., ve Marques, A. C. (2022). Drivers and Barriers in the Transition from a Linear Economy to a Circular Economy. *Journal of Cleaner Production*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>
- Ni, D., Xiao, Z., ve Lim, M. K. (2020). A Systematic Review of the Research Trends of Machine Learning in Supply Chain Management. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11(7), 1463–1482.  
<https://doi.org/10.1007/s13042-019-01050-0>
- Oršič, J., Jereb, B., ve Obrecht, M. (2022). Sustainable Operations of Last Mile Logistics Based on Machine Learning Processes. *Processes*, 10(12).  
<https://doi.org/10.3390/pr10122524>
- Özgüner, M., ve Aytakin, M. (2021). Tedarikçi İlişkilerinin Tedarik Zinciri Risklerine Etkisi: TRC1 Bölgesi’nde (Gaziantep, Adıyaman, Kilis) Bir Araştırma. *Verimlilik Dergisi, Temmuz* (3), 75–89.
- Özgüner, M., ve Özgüner, Z. (2019). Tedarik Zinciri Riskleri’nin Lojistik Performans Üzerindeki Etkisinin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 14(1), 67–82.  
<https://orcid.org/0000-0002-8694-7275>
- Pasupuleti, V., Thuraka, B., Kodete, C. S., ve Malisetty, S. (2024). Enhancing Supply Chain Agility and Sustainability through Machine Learning: Optimization Techniques for Logistics and Inventory Management. *Logistics*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/logistics8030073>
- Rolf, B., Jackson, I., Müller, M., Lang, S., Reggelen, T., ve Ivanov, D. (2023). A Review on Reinforcement Learning Algorithms and Applications in Supply Chain Management. In *International Journal of Production Research*, 61(20), 7151–7179. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2140221>
- Sarkis, J., ve Dhavale, D. G. (2015). Supplier Selection for Sustainable Operations: A Triple-Bottom-Line Approach Using a Bayesian Framework. *International Journal of Production Economics*, 166, 177–191.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.007>
- Thakur, M., Patel, P., Gupta, K., Kumar, M., ve Sathishkumar, A. S. (2023). Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Supply Chain Management: A Comprehensive Review. In *Eur. Chem. Bull* (Vol. 2023).
- Tirkolaei, E. B., Sadeghi, S., Mooseloo, F. M., Vandchali, H. R., ve Amini, S. (2021). Application of Machine Learning in Supply Chain Management: A

- Comprehensive Overview of the Main Areas. In *Mathematical Problems in Engineering* (Vol. 2021). <https://doi.org/10.1155/2021/1476043>
- UTİKAD, (2017). DHL Tedarik Zinciri Risklerini Yazılımla Tahmin Ediyor. <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/15022/dhl-tedarik-zinciri-risklerini-yazilimla-tahmin-ediyor>, Erişim tarihi: 14.10.2025.
- Wenzel, H., Smit, D., ve Sardesai, S. (2019). A Literature Review on Machine Learning in Supply Chain Management Standard-Nutzungsbedingungen. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, 27, 413–441. <https://doi.org/10.15480/882.2478>
- Woschank, M., Rauch, E., ve Zsifkovits, H. (2020). A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093760>
- Yaiprasert, C., ve Hidayanto, A. N. (2024). AI-Powered Ensemble Machine Learning to Optimize Cost Strategies in Logistics Business. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100209>
- Yu, X., Liao, X., Li, W., Liu, X., ve Tao, Z. (2019). Logistics Automation Control Based on Machine Learning Algorithm. *Cluster Computing*, 22, 14003–14011. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2169-0>
- Zhang, R., Zhou, X., Jin, Y., ve Li, J. (2022). Research on Intelligent Warehousing and Logistics Management System of Electronic Market Based on Machine Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2076591>

## **8. Bölüm**

# **Lojistik Ve Tedarik Zinciri Yönetimini Şekillendiren Yenilikler: Büyük Veri**

**Öğr. Gör. Dr. Çetin POLAT <sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Finike Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü,  
cetinpolat@akdeniz.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-1031-1593

## GİRİŞ

Çeşitli teknoloji yenilikleri arasında, hacim, çeşitlilik, hız ve değerle karakterize edilen büyük veri, günümüzde yaşanan dijital dönüşümün en önemli sonuçlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Boyutu, özellikleri ve hızıyla, geleneksel veri tabanlarının kapasitesini aşan veri kümelerine, büyük veri denilmektedir. Çeşitli kaynaklardan üretilen büyük miktarda veriyi toplamak, depolamak ve analiz etmek için ek işlevler sağlayan ve katma değer elde eden popüler bir kurumsal sistem veya platformdur (Lai vd., 2018: 677). Büyük verinin, veri boyutu, çeşitli veri türleri, yüksek veri işleme hızı ve düşük veri değeri gibi dört temel özelliği bulunmaktadır. Bu dört özellik, büyük veriyi, diğer veri gruplarından ayırmaktadır (Wang vd., 2017: 2). Bu özelliklerden dolayı büyük veri, geleneksel veri işleme yöntemleri kullanılarak işlenememekte olup, veri analitiğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bilgi teknolojisinde yaşanan hızlı gelişme, birçok sektörde rekabet yöntemlerini değiştirmiştir. Dijital platformlarda yapılan her etkileşim zengin bir bilgi birikimi oluşturmakta ve bu birikim ise iyi değerlendirildiğinde, sektörler açısından başta verimlilik olmak üzere, farklı alanlarda başarılı sonuçlar yaratabilmektedir. Uluslararası erişim ve geniş operasyon yelpazesi ile lojistik sektörü, bu dönüşümün gücünden yararlanmaya elverişli bir konumdadır. Dijital çağın ilerlemesi geleneksel lojistiğe yeni zorluklar getirmektedir. Temel zorluk, esnek bir şekilde çalışabilen ve her tüketicinin ihtiyaçlarına uyum sağlayabilen müşteri odaklı operasyonların geliştirilmesiyle ilgilidir. Bu durum, lojistik faaliyetler ve tedarik zinciri yönetimi göz önünde bulundurulduğunda , büyük ölçüde müşteriler tarafından talep edilen, yeni kitle özelleştirmesi ve dijital dönüşümle geliştirilebilmesi için tüm üretim ağının entegre edilmesi ihtiyacından kaynaklanmaktadır (Nobrega vd., 2021: 2). Büyük veri üretimi için verimli bir ortam sağlayan tedarik zinciri yönetimi, sensörler, RFID (Radyo frekansıyla tanımlama) ve izleme cihazlarının kullanımı gibi çeşitli işlemlerden, büyük miktarda veri toplamaktadır. Büyük veri kavramı, görünürlüğün artmasına ve riskin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Gerçek zamanlı verilerin ve kritik karar alma senaryolarının analizi yoluyla, müşterileri ve performansını takip için entegre bir çerçeve sağlayarak, tedarik zinciri sorunlarına çözümsel yaklaşım sunması beklenmektedir. Büyük veri teknolojisinin benimsenmesi, işletmeler için önemli katma değer ve finansal kazanımlar sağlayabilecek ve sektörde norm haline gelebilecektir. Lojistik sektörü tarafından yalnızca bir trend olarak görülmeyen büyük verinin, etkin ve hızlı karar almada, lojistik süreçlerin optimizasyonunda ve öngörülebilir analiz konusunda ihtiyaç duyulan eksikliği tamamlaması beklenmektedir (Chauhan vd., 2022: 9).

İş ve akademi dünyası, sürdürülebilir lojistik yöntemlerinde büyük veri uygulamasının önemini, büyük bir çoğunlukla kabul etmektedir (Barreto vd., 2017: 1246; Gupta vd., 2025: 1). Lojistik şirketleri, lojistik operasyonlarında rekabet gücünü artıran avantajlar elde etmek için büyük veri kullanımını desteklemektedirler. Böylece, tedarik zinciri ağ ile ürün tasarımı ve geliştirmeyi içeren stratejik bir bakış açısı sağlanabilecektir. Tedarik zinciri bünyesindeki lojistik süreçlerin karmaşıklığı ve çok aşamalı olması göz önüne alındığında, süreçlerde bilgi teknolojilerini de kapsayan entegrasyon yeteneği, firmaların başarısı açısından oldukça önemlidir (Lai vd., 2018: 680; Thekkootte, 2022: 2364). Diğer yandan, küresel konumlandırma sistemi (GPS) cihazları ve uydular aracılığıyla toplanan büyük gerçek zamanlı verilerden yararlanılarak, doğru hava durumu ve trafik tahminleri sağlanabilecektir. Bu bilgiler, lojistik firmalarına trafik sıkışıklığını azaltma ve verimli rota planlama konusunda destek olabilecektir. Ayrıca, bilinçli sipariş yönetimi ve envanter planlama kararları almak için de geçmiş veri eğilimlerine ve müşteri talep modellerine uygulanabilecek, firmaların, müşteri davranış ve geri bildirim eğilimlerini incelerken özelleştirilmiş çözümler sunmalarına da olanak sağlayabilecektir. Ek olarak, lojistik şirketlerin, karbon ayak izlerini dikkate alarak sürdürülebilir hedeflere ulaşması noktasında da önemli bir araç olabilecektir (Gupta vd., 2025: 2).

Büyük veri analizi, işletme marjında % 60 oranında artış, masraflarda ise % 8'e varan azalma sağlayabilecektir. Ayrıca, işletmenin finansal performansında da % 3-7 aralığında iyileşme yaşanmasına sebep olabilecektir (Ertz vd., 2024: 1265). Büyük veri, maliyet tasarrufu sağlayan seçenekler ile etkili iş kararları sağlamak için mevcut ve gelecekteki pazar eğilimlerini, lojistik hizmetlerinin satın alma modellerini ve ilgili bakım döngülerini belirleyebilecektir. Çeşitli kuruluşlar, internet üzerinden üretilen verilerin önemli miktardaki istilasından fayda sağlama zorluğuyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu veriler, iş kararları, üretim bağlantısı, müşteri odaklılık vb. dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere çeşitli iş sonuçlarını etkileyen bilgiler sağlamanın değerli bir kaynağı ve aracı olarak hizmet etmektedir. Ek olarak, çok sayıda iş sürecini güncellemek ve düzenlemek için çok sayıda iş operasyonu durumunu anlamaya da yardımcı olmaktadır. Büyük veri, özellikle üçüncü taraf lojistik hizmet sağlayıcıları (3PL), nakliyeciler ve dünya çapında muazzam bir mal akışını yöneten ve kapsamlı veri üreten hizmet kullanıcıları için lojistik hizmetleri önemli ölçüde etkilemektedir. Lojistik hizmetlerindeki paydaşlar, teslimatlarını kaynaktan hedefe kadar izleyerek, takip edebilmekte, hacim, boyut, ağırlık, hedefe ulaşma süresi vb. bilgileri elde edebilmektedir. Bu veriler üretim tedarik zincirinde, lojistik verimliliği ve müşteri deneyimini geliştirmeyi amaçlayan hızlı ve etkili karar alma için kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 tabanlı teknolojilerin faydalarını

fark eden üçüncü parti lojistik (3PL) hizmet sağlayıcılar, bu teknolojileri lojistik operasyonlarına entegre etmeye başlamıştır. Böylece, pazar eğilimlerini, müşteri satın alma modellerini, maliyet yönetimi ve pazar genişlemesine yönelik iş kararlarını ortaya koyan çeşitli önemli bilgilere erişim, sürdürülebilir tedarik zinciri için çaba harcayan firmalar için de faydalı olabilecektir (Qureshi vd., 2024: 2).

Büyük verinin teknolojik uygulaması, arama, hesaplama, analiz, depolama, indeksleme, sorgulama gibi karmaşık yapıda, büyük miktarda, değişken türde ve yüksek ticari değere sahip veri kümelerinin toplanmasıyla oluşan bir tür teknik davranıştır. Verilerin potansiyel değerinden yararlanmak, veri yığını yeni bir tür entelektüel kaynağa dönüştürmek, geleneksel endüstriyi düşünce biçimini değiştirmeye teşvik etmek, bu önemli üretim faktörünün verilerini daha iyi kullanmak ve toplum için daha fazla fayda sağlamak için bilimsel yöntemler kullanılmaktadır (Wang vd., 2017: 1).

Endüstri 4.0 sürecinin etkisiyle oluşan Lojistik 4.0 kavramı, geleneksel lojistikte benimsenen çözümleri değiştirmiş ve yeni kolaylaştırıcı teknolojiler sunmuştur. Endüstri 4.0 çağında, otomasyon ve veri analizi önemli gelişmeler kaydederek üretim yönetimi ve operasyon yönetimini büyük ölçüde etkilemiştir. Lojistik 4.0, ölçeklenebilir ve verimli yazılım çözümlerinin yanı sıra bunların başarılı gerçek dünya uygulamalarında kullanılmasını gerektirmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), robotik, bulut bilişim (CC) ve büyük veri gibi teknolojiler, Lojistik 4.0'ı şekillendirmede ve üretim tedarik zincirinin verimliliğini artırmada önemli bir rol oynayarak, tedarik zinciri sürdürülebilirliği hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, büyük veri analizin lojistik ve tedarik zinciri yönetimindeki (TZY) kavramsal çerçevesi , Web of Science (WOS) veri tabanında 2015-2025 yıllarını kapsayan açık erişim makalelerin analizleri yer almaktadır. İkinci bölümde, lojistik ve TZY'de büyük veri analizi ihtiyacı, üçüncü bölümde büyük veri kullanımı ve son bölümde büyük veri kullanım alanlarına dair sektörel örnekler bulunmaktadır. Bu çalışma, büyük veri kullanımının, lojistik ve tedarik zinciri hizmetlerinde sağlayacağı katkının ortaya konmasında, mevcut çalışmaların analizini bütüncül bir yaklaşımla sunarak, gelecek çalışmalar açısından eğilimleri göstermek üzere tasarlanmıştır.

## 1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Literatürde bazı araştırmacılar, büyük verinin performans, karlılık ve verimlilik üzerindeki etkilerini tartışmaktadır (Loon ve Peing, 2019: 1062 ; Ertz vd., 2025: 1263). Lai ve arkadaşları (2018) çalışmada, lojistik ve tedarik

zincirinde faaliyet gösteren firmaları, günlük operasyonlarında büyük veri kullanmaya motive eden, teknolojik, organizasyonel ve çevresel faktörleri ele almaktadır. Mathias ve arkadaşları (2024) çalışmasında, konteyner terminallerindeki operasyonel verimliliğin artırılması için belirli bir hareket türünü ortadan kaldırmak amacıyla büyük veri analizi gerçekleştirmiştir. Kalenyuk ve arkadaşları (2024) çalışmasında, dijital süreçlerin şirketlerin lojistik faaliyetlerini dönüştürdüğünü ele almaktadır. Yeni teknik çözümler (büyük veri, bulut çözümleri, artırılmış gerçeklik, drone teslimatı vb.) şirketlerin rekabet avantajları yaratmasına, çözümlerin verimliliğinin artmasına ve fırsat yelpazesini önemli ölçüde genişletmesine yardımcı olmaktadır. Böylece, talebin kişiselleştirilmesi, bireysel müşteri taleplerinin karşılanması, iyileştirilmiş iletişim ve hizmet, operasyonların ölçeklendirilmesi, daha derin analiz, tahmin ve dinamik fiyatlandırma sağlanabilecektir. Vıncek ve arkadaşlarına (2023: 405) göre, Lojistik 4.0'da büyük veri analitiğı, eyleme dönüştürülebilir öngörüler elde etmek için geniş veri kümelerinin çıkarılmasını, işlenmesini ve yorumlanmasını içermektedir. Bu alandaki araştırmalar, talep tahminini, tedarik zinciri optimizasyonunu, risk yönetimini ve genel müşteri deneyimini iyileştirmek için veri madenciliğı, makine öğrenimi algoritmaları ve öngörücü modelleme gibi gelişmiş analitik tekniklerin kullanılmasına odaklanmaktadır.

Kazancoğlu ve arkadaşları (2022: 10), büyük veri çözümleri kullanarak süt ürünleri tedarik zincirleri için bulanık tabanlı bir hibrit karar çerçevesi önermektedir. Önerilen yöntem, belirli sıralama ve eşleştirme özelliklerine dayanarak veriler arasında sınıflandırmayı belirlemektedir. Deneyisel sonuçlar, önerilen yöntemin sistemin genel performansını ve verimliliğini artırdığını göstermektedir. Tedarik zinciri, her sektörde mal ve hizmetler hakkında doğru bilgi edinmede hayati bir rol oynamakta ve bu da kullanıcılar için daha iyi hizmet ve iletişim süreci sağlamaya yardımcı olmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, kullanıcılara hizmet sağlarken, istenmeyen sorunları önlemeye yardımcı olan daha büyük miktarda veriyi de yönetmektedir. Zeng ve Yi'ye (2023: 2) göre, büyük veri analitiğı, çeşitli alanlarda büyük verileri yönetmek için temel bir tekniktir. Büyük veri analitiğı, esas olarak büyük miktarda veriyi toplamak, sürdürmek ve analiz etmek için kullanılır ve bu da veri yönetimi sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırmaya yardımcı olmaktadır. Kapsamlı veri analitiğı süreci, gerçek zamanlı bir uygulamada büyük miktarda veriyi korumakta ve daha fazla işlem için depolama alanının boyutunu ve kullanılabilirliğini sağlamaya yardımcı olmaktadır. Büyük veri analitiğı, sorunları ve hataları azaltmaya yardımcı olan verileri yönetmek için disiplinli bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu nedenle hizmet akışı algılama sürecinde daha iyi doğruluk oranları sağlamak için büyük veri analitiğı teknolojileri

kullanılmaktadır. Büyük veri analitiği, tedarik zinciri yönetiminin depolama alanını, kullanılabilirliğini, işleme ve yönetim sürecini iyileştirerek bir uygulamanın ve organizasyonun verimlilik düzeyinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Zhan ve Tan ( 2020: 565) çalışmasında, büyük veri kullanan tedarik zinciri yönetimi (TZY) sistemleri için analitik bir altyapı önermektedir. İlgili verileri elde etmek için büyük veri analitiği süreci kullanılmış ve bu, sistemin genel performans oranını ve etkinliğini iyileştirerek, TZY'nin performansını artırmaya yardımcı olmaktadır. Sathyan ve arkadaşları (2021: 7953), otomotiv tedarik zinciri için bulanık ve büyük veri analitiği yaklaşımlarını birleştiren bir analiz yöntemi önermektedir. DEMATEL yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, tespit sürecindeki doğruluk oranının artarak, kullanıcıların güvenliğini iyileştirmeye yardımcı olduğunu göstermektedir. Bag ve arkadaşları (2020: 7), TZY için yeni bir büyük veri analitiği süreci önermektedir. Buna göre, kullanıcılara daha verimli ve etkili hizmetler sunularak, sistemin genel yönetim sürecinin iyileştirilmesi beklenmektedir. Sonuçlar, önerilen yöntemin TZY süreci için sürdürülebilir yeteneklerinin geliştirilmesine yardımcı olduğunu göstermektedir. Böylece, lojistik maliyet ve enerji tüketim oranı azaltılarak, TZY'nin genel performans ve güvenilirliği artırılmıştır.

Xu ve arkadaşlarına (2023: 12) göre, mevcut bilgi, büyük veri analitiği ile tedarik zinciri planlaması arasındaki bağlantıyı yapılandırılmış bir şekilde çizmede yetersiz kalmaktadır. Çalışmasında, akademisyenler, tedarik zinciri uygulayıcıları ve veri uzmanları dahil olmak üzere 35 kişi ile üç turdan oluşan Delphi tekniği kullanılmıştır. Sonuçlar, hangi büyük veri analizi yönteminin ve kaynağının her bir tedarik zinciri planlama sürecinde daha umut verici olduğunu anlamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, eylem önceliği matrisi ile planlama ve veri analizi yatırımlarına ilişkin kararları desteklemek için bir rehber sunularak, hangi tedarik zinciri faaliyetlerinin daha fazla etkilenme olasılığının olduğu gösterilmektedir.

Wang ve arkadaşlarına (2017: 1) göre, büyük verinin özü, bulma ve tahminden oluşmaktadır. Veri madenciliği ve analizi yoluyla, veri yüzeyinin altında gizli olan geçmişin işleyen yasasının bulunması ve gelecek eğilimin tahmin edilmesidir. Arka plandaki bu veri algoritması, işletmelerin yönetim biçimini değiştirecek ve lojistik işletmelerinin kâr modelini yenileyecek önemli bir üretim faktörü haline gelmektedir. Lojistik sektöründe, özellikle de taşımacılık, depolama, ulaştırma, dağıtım, paketleme ve diğer bağlantılar dahil olmak üzere tüm lojistik faaliyetlerde her gün çok fazla veri ortaya çıkmaktadır. Birbirine bağlanan her bağlantı, eksiksiz bir bilgi akışı oluşturmaktadır. Lojistik işletmeler, bu verileri zamanında ve doğru bir şekilde işleyemezse, bu durum

işletmeler açısından veri karmaşasına ve kaynak israfına yol açabilmektedir. Bu nedenle büyük veri analitiği, lojistik sektörünün stratejik karar alma, operasyonel yönetim, marka yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi, hizmet inovasyonu vb. üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu, işletmelerin lojistik kaynaklarının tahsisini optimize etmelerine, lojistik sektörünün gelişimini ve dönüşümünü hızlandırmalarına ve bilgi çağının gereksinimlerini karşılamalarına yardımcı olabilecektir. Büyük veri ekseninde, lojistik sektörünün veri kaynaklarını kullanma, verimliliği artırma ve pazar rekabet avantajı elde etme fırsatını değerlendirmesi önem taşımaktadır (Hasan vd., 2024: 46).

## **2. LOJİSTİK ve TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BÜYÜK VERİ**

Yapılandırılmamış veriler, çeşitli müşteri ve tedarikçi web sitelerinden, giderek artan video depolama alanlarından ve daha önce toplanmamış veya analiz edilmemiş veri kümeleri arasındaki ilişkilerden kaynaklanmaktadır. Bu veri girdilerin birleştirilmesi, çapraz referanslanması, izlenmesi ve bunlarla ilgili kararların alınması için analiz araçlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Verilerin analize uygun formatlara dönüştürülmesi için önemli ölçüde ön işleme gerekmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan teknolojiler (Hadoop, Spark gibi), veri depolama, işleme ve analiz maliyetlerini düşürmektedir (Gorman vd., 2023: 28).

Büyük verilerin depolanması ve analizi için birçok farklı platform bulunmaktadır. Bunlardan, Hadoop ve Spark en fazla tercih edilenleridir. Her ikisi de Apache yazılım vakfı tarafından geliştirilmiştir. Hadoop, kullanıcıların büyük veri kümelerini (gigabaytlardan, petabaytlara kadar) yönetmelerine olanak tanıyan, geniş ve karmaşık veri sorunlarını çözmek için bilgisayar ağı oluşturan açık kaynaklı bir yazılım aracıdır. Hem küme sunucularındaki tüm depolama ve işleme kapasitesini kullanmayı, hem de büyük miktar veride, dağıtılmış işlemleri yürütmeyi kolaylaştırmaktadır (OpenLogic, 2025). Spark ise büyük veri kümeleri için bir veri işleme motorudur. Hadoop gibi, Spark da büyük veri kümelerini farklı düğümlere bölmektedir. Ancak, Hadoop'tan daha hızlı performans göstermekte ve verileri ön belleğe alarak, işlemek için bir dosya sistemi yerine, rastgele erişim belleği (RAM) kullanmaktadır. Bu durum, Spark'ın, Hadoop'un işleyemediği kullanım durumlarını yönetmesini sağlamaktadır. Hadoop'a göre daha yeni bir teknolojidir (IBM, 2025).

Lojistik hizmetlerde veri artışı, uydu takibi, sabit varlıkların (tır terminalleri, tren istasyonları ve raylar, limanlar) ve hareketli varlıkların (lokomotifler, vagonlar, traktörler, kargo uçakları veya konteyner gemileri) konumunu ve durumunu (sıcaklık, aşınma, titreşim vb.) dünya çapında izleyen düşük maliyetli sensörler dahil olmak üzere çeşitli etkenlerden kaynaklanmaktadır. Genellikle

Nesnelerin İnterneti (IoT) olarak da adlandırılan ve birbirine bağıllı akıllı cihazlardan üretilen veri hacimleri çok düşük maliyetlidir. Bu teknoloji öncesinde, bu tür verilerin toplaması için insan gücü gerekmekte olup bu da maliyet artışı, zaman kaybı ve başarısızlıkla sonuçlanmaktaydı. IoT, kablosuz veri aktarımı yoluyla verileri neredeyse anında kullanılabilir hale getirerek, veri depolama ve dağıtım teknolojilerine bağlantı eksikliğinden kaynaklanan veri gecikmesini ortadan kaldırmaktadır. Bu veri devrimi, lojistik sektörünün, farklı veri kaynaklarından ve biçimlerinden, öngörücü ve tanımlayıcı analitik teknolojiler aracılığıyla değer yaratmasını sağlayabilecektir (Gorman ve diğerleri, 2023: 29).

TZY’de büyük veri yöntemlerinden ve teknolojilerinden faydalanabilecek birçok alan bulunmaktadır. Bunlar arasında, kamçı etkisinin azaltılması, çok kriterli karar verme, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, sensör veri tabanlı tahmini bakım, verimli lojistik, tahmin ve talep yönetimi, planlama ve programlama yer almaktadır (Govindan vd., 2018: 345). Operasyonel verimliliği artırmak için farklı tedarik zinciri bileşenleri, büyük veri bilgileri ve teknolojileri genelindeki entegre üretim ve dağıtım süreçlerinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Üreticiler, lojistik, tedarikçiler ve perakendeciler, müşterilerine ve hizmetlerine değer katmak için bütünsel bir yaklaşım geliştirmelidir (Oyewo vd., 2021: 285).

## **2.1. Veri Türleri ve Kaynakları**

Veri hacmi, tüm ulaşım modları için yıllar içinde önemli miktarda artış göstermiştir. Taşıma araçlarındaki sensör sayısı ve veri toplama sıklığı önemli ölçüde arttıkça, büyük veri depolama platformlarına olan gereksinim de artmaktadır. Uçak, gemi gibi nakliye araçlarının verileri artık o kadar hacimlidir ki bunları depolamak ve yönetmek için özel platformlar ortaya çıkmıştır. Bu platformların, ham sensör verilerini, yapılandırılmış ve yönetilen verilere dönüştürmesi, hızlı veri erişimi ve işleme etkinliğine sahip olması, analitik ve görselleştirme yetenekleri sağlaması gerekmektedir. Ayrıca, tasarlanan yeni analitik ve öngörücü modellerin de platforma dahil edilmesi için açık bir tasarımına sahip olmaları gerekmektedir (Gorman, 2023: 29).

### **2.1.1. Taşıt Takip Verileri**

Yeni cihazlar, ulaşım varlıklarının gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanımaktadır. Taşıt konumunu uydu aracılığıyla izleyen küresel konumlandırma sistemi (GPS) cihazları, tüm ulaşım modları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak, Amerikan Demiryolları Birliği, tüm trenlerin 2020 yılına kadar uydular kullanılarak izlenmesi gerektiğini savunmuştur.

Denizcilik sektöründe, gemi bilgisi ve konumu, hızı, rotası ve taşıdığı yük gibi verileri depolayan ve paylaşan otomatik tanımlama sistemi (AIS) uzun bir süreden beri kullanılmaktadır. Bu veriler genellikle konteynerler, gemiler veya elleçleme ekipmanları üzerindeki sensörler kullanılarak, otomatik ve sürekli olarak elde edilmektedir. Ayrıca telematik, sürücü davranışlarını izlemek ve yol kazalarını önlemek için kamyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Araç takip sistemlerinin farklı biçimlerinin, araca ya da akıllı telefonlara kurulu olması durumunda taşıyıcı, filo konumunun görünürlüğünü daha etkin sağlayabilmektedir. Elektronik kayıt cihazlarının kullanımı ve otonom kamyonların taşıyıcı filolarına entegre edilmesiyle, konuma yaygın erişim sağlanmaktadır. Bu veri kaynakları özellikle, varış zamanını tahmin etme veya olası sorunlar için erken uyarı sağlama gibi öngörücü analizlere de olanak sağlamaktadır. Uçaklardaki sensörler, tren, gemi ve kamyonlar için uydular kullanılarak yakalanan rüzgar yönü veya sıcaklık gibi hava durumu bilgileri, araç navigasyonunu yönlendirerek, öngörücü analizler yapılmasına olanak tanımaktadır (Govindan vd., 2018: 344).

### **2.1.2. Taşıt Durum Verileri**

Yük taşımacılığında kullanılan araçlar üzerindeki sensörler, taşıt durumu hakkında gerçek zamanlı veriler sağlamaktadır. Örnekler arasında uçak motoru titreşim verileri, lokomotif verileri, gemi verileri, konteyner ve vagon verileri yer almaktadır. Demir yolu taşımacılığında ise ray durum verileri, artık sürekli olarak izlenebilmektedir. Hava kargo sektörü, verimliliği, güvenilirliği ve güvenliği artırmak için gelişmiş platformlar ile uçak, yer destek ekipmanı ve paketlerdeki sensörlerden gelen yüksek frekanslı durum verilerini kullanmaktadır. Benzer cihazlar kamyonlarda, gemilerde ve lokomotiflerde de bulunmaktadır. Bu tür sık, doğru ve tam zamanlı veriler, olağan dışı gelişmeleri tespit ederek, güncel duruma dayalı bakım ihtiyacına destek olabilmektedir (Jin ve Kim, 2018: 7).

### **2.1.3. Simülasyon ve Terminal İstatistik Verileri**

Simülasyon verileri, taşıt hareketinin performansının gerçekçi koşullar altında analiz edilmesine yardımcı olmaktadır. Örneğin, NASA tarafından geliştirilen ticari modüler hava tahrik sistemi simülasyonu (C-MAPSS), elde ettiği veriler ile havayolu operasyonları ve olası olaylar hakkında bilgi sağlamaktadır. Benzer şekilde, tren istasyonu ve hareketi, konteyner terminali ve navigasyon, kamyon merkezi ve yük hareketi simülasyonları da iş planlaması için proaktif bilgi sağlamaktadır. Özellikle paket kargo sektöründe, teslim

noktasına gecikmeden ulaşmak için hangi rotanın seçilmesi gerektiği de bu veriler kullanılarak sağlanabilmektedir (Gorman, 2023: 30).

### **3. LOJİSTİK ve TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BÜYÜK VERİ KULLANIMI**

Günümüzün hızlı değişen koşullarında, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi sayısız zorlukla karşı karşıyadır. Küreselleşmeden, müşterilerin daha hızlı teslimat taleplerine kadar, şirketlerin operasyonlarını sürekli olarak optimize etmeleri gerekmektedir. Büyük veri analitiği, işletmelerin bilinçli karar almak ve yenilikçiliği yönlendirmek için büyük miktarda veriyi toplamasına, analiz etmesine ve kullanmasına olanak tanıyan, oyunun kurallarını değiştiren bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Lojistik ve tedarik zincirinde büyük verinin önemi, gerçek zamanlı veri ve öngörülerle daha hızlı karar almak için entegre platformlara erişim olanağı yaratmasından kaynaklanmaktadır. Gerektiğinde operasyonları değiştirmek ve müşteriler bir sorun olduğunu fark etmeden önce çözümler sunabilmektedir. İş süreçlerinin altyapısı güvenli tutulmakta ve sürece dair kararlar alınırken güvenilir bir ortam sunmaktadır. Dahası, büyük veriler ön yargılı değildir. İşletme performansının genel resmini, sayılarla gerçeğe dayalı olarak yansıtmaktadır. Büyük veri, lojistik ve tedarik zinciri operasyonlarında, farklı alanlarda kayda değer fayda sağlamaktadır (Flow Space, 2023).

#### **3.1. Görünürlüğü ve Şeffaflığı Artırmak**

Büyük verinin, lojistik ve tedarik zinciri yönetimindeki önemli faydalarından biri, tüm değer zincirinde görünürlüğü artırmasıdır. Tedarikçiler, depolar, nakliyeciler ve müşteriler dahil olmak üzere, çeşitli kaynaklardan gelen verileri entegre ederek, şirketler, envanter seviyeleri, sevkiyat durumu ve talepler hakkında gerçek zamanlı bilgi elde edilmektedir (Jin ve Kim, 2018: 2).

Walmart, ürün satışlarını ve envanter seviyelerini izlemek için büyük veri analitiğinden yararlanmaktadır. Böylece, rafları proaktif olarak yeniden doldurabilmekte ve tedarik zinciri operasyonlarını optimize edebilmektedir. Bu da önemli maliyet açısından önemli fayda sağlamaktadır. Capgemini'nin yaptığı bir araştırma, gerçek zamanlı tedarik zinciri görünürlüğüne yatırım yapan şirketlerin, stokta olmayan envanterde % 50 azalma ve kusursuz sipariş teslimatında %10 iyileşme yaşadığını göstermektedir (Thread in Motion, 2023).

#### **3.2. Talep Tahmini ve Stok Optimizasyonu**

Stok seviyelerini optimize etmek, maliyetleri düşürmek ve müşteri beklentilerini karşılamak için doğru talep tahmini, kritik öneme sahiptir. Büyük veri analitiği, şirketlerin geçmiş satış verilerini, müşteri davranışlarını, pazar

eğilimlerini ve dış faktörleri analiz ederek, hassas talep tahminleri oluşturmalarını sağlamaktadır. Şirketler, satış noktası sistemleri, sosyal medya ve hava durumu raporları gibi birden fazla kaynaktan gelen verileri entegre ederek, kalıpları ve anormallikleri belirleyebilmekte ve bu da daha doğru tahminlere yol açabilmektedir (Thread in Motion, 2023).

McKinsey'nin raporuna göre, talep tahmini için büyük veri analitiğini kullanan şirketlerin, envanter maliyetlerinde % 20'ye varan bir düşüş ve tahmin doğruluğunda % 10'luk bir iyileşme yaşadığını göstermektedir (Medium, 2024).

### **3.3. Rota Optimizasyonu ve Teslimat Verimliliği**

Lojistik ve tedarik zinciri şirketleri karmaşık ulaşım ağlarıyla uğraşmakta ve teslimatlar için en verimli rotaları bulma konusunda zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Büyük veri analitiği, trafik koşulları, hava koşulları ve geçmiş teslimat verileri gibi faktörleri göz önünde bulundurarak rotaların optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Şirketler, gelişmiş algoritmalar ve gerçek zamanlı veri akışları kullanarak en verimli yolları belirleyebilirken, yakıt tüketimini azaltabilir, teslimat gecikmelerini en aza indirebilir ve genel müşteri memnuniyetini artırabilmektedirler (McKinsey, 2016).

Küresel bir lojistik sağlayıcısı olan UPS, teslimat rotalarını optimize etmek için büyük veri analitiğinden yararlanmaktadır. UPS, rotaları optimize ederek, kara nakliye araçlarının rölanti sürelerini azaltmakta ve yılda yaklaşık 10 milyon galon yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu da taşıma maliyeti ve karbon emisyonunun azalması anlamına gelmektedir (Medium, 2021).

### **3.4. Risk Yönetimi ve Tedarik Zinciri Dayanıklılığı**

Günümüzün birbirine bağlı küresel ekonomisi, tedarik zinciri kesintilerinin oluşturduğu ciddi sonuçlar ile karşı karşıyadır. 2020 yılında dünya genelinde yaşanan Covid pandemisi, tedarik zincirinde bozulmalara yol açmış ve küresel ekonomide izleri hala silinmeyen derin yaralara yol açmıştır. Büyük veri analitiği, şirketlerin riskleri proaktif bir şekilde belirlemesine ve karşılaçağı riskleri azaltmasına yardımcı olmaktadır. Şirketler, tedarikçilerden gelen gerçek zamanlı verileri, hava durumu tahminlerini, jeopolitik faktörleri ve sosyal medya yorumlarını analiz ederek, olası kesintileri önceden tahmin edebilmekte ve önleyici tedbirler alabilmektedir. Bu, tedarik zinciri dayanıklılığını artırarak, kesinti süresini azaltır ve operasyonların sürekliliğini sağlayabilmektedir (Wang vd., 2016: 104).

2017 yılında Amerika'da yaşanan Harvey Kasırgası sırasında, The Home Depot, fırtınanın etkisini izlemek ve buna yanıt vermek için büyük veri analitiğinden yararlanmıştır. Şirket, ürün talebi, mağaza operasyonları ve

lojistikle ilgili verileri kullanarak kamyonların yeniden yönlendirilmesini sağlamış, temel malzeme önceliklerini belirleyerek, sekteye uğrayan dağıtım operasyonlarını yeniden hızla başlatabilmiştir (Coreteka, 2023).

### **3.5. Depo Yönetimi ve Sipariş Karşılama**

Müşteri beklentilerini karşılamak için verimli depo yönetimi ve sipariş karşılama hayati önem taşımaktadır. Büyük veri analitiği, depo düzenlerini, envanter yerleşimini ve iş gücü tahsisini optimize ederek, taşıma maliyetlerinin azaltılmasına, teslim alma doğruluğunun artırılmasına ve siparişlerin daha hızlı işlenmesine katkı sağlamaktadır. Şirketler, sensörlerden, RFID etiketlerinden ve IoT cihazlarından gelen gerçek zamanlı verileri analiz ederek, envanter takibini otomatikleştirebilmekte, darboğazları belirleyebilmekte ve depo operasyonlarını kolaylaştırabilmektedirler (Yin vd., 2022: 6685).

Küresel e-ticaret devi Amazon, depo operasyonlarını optimize etmek için büyük veri analitiğinden yararlanmaktadır. Amazon, ürün talebini tahmin etmek için algoritmalar kullanarak, depoları stratejik olarak müşterilere daha yakın bir yere yerleştirmekte ve bu da daha hızlı sipariş karşılama ve daha düşük nakliye maliyetleriyle sonuçlanmaktadır. Ayrıca şirket, sensörlerden ve otomasyon teknolojilerinden gelen verileri kullanarak, toplama, paketlenme ve nakliye süreçlerini kolaylaştırmakta, verimli depo yönetimi ve müşteri memnuniyeti sağlamaktadır (Ittmann, 2015: 6).

### **3.6. Tedarik Zinciri İş Birliği ve Tedarikçi Yönetimi**

Büyük veri analitiği, tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve perakendeciler dahil olmak üzere tedarik zincirindeki çeşitli paydaşlar arasındaki iş birliğini kolaylaştırmaktadır. Şirketler, ilgili verileri ve öngörülerini paylaşarak koordinasyonu iyileştirebilmekte, üretim programlarını senkronize edebilmekte ve envanter seviyelerini optimize edebilmektedirler. Şirketler, gerçek zamanlı verilerle potansiyel darboğazları belirleyebilmekte ve bunları ele almak için proaktif önlemler alabilmektedirler. Böylece, genel tedarik zinciri performansını artırabilmektedirler (Purkayastha ve Babu, 2017: 5).

Procter & Gamble (P&G) ile perakende ortakları arasındaki iş birliği, tedarikçi tarafından yönetilen envanter için büyük verilerden yararlanmanın önemli bir örneğidir. P&G ve iş ortakları, gerçek zamanlı satış verilerini ve envanter seviyelerini paylaşarak, stok yenilemelerini proaktif bir şekilde yönetebilmekte, böylece stokta bulunmama durumlarının azalmasına ve satış performansının artmasına olanak sağlamaktadırlar (Medium, 2024).

### **3.7. Sürekli İyileştirme ve Tahmine Dayalı Analitik**

Büyük veri analitiği, şirketlerin geçmiş verilerden değerli bilgiler edinmelerini ve iyileştirme fırsatlarını belirlemelerini sağlamaktadır. Şirketler, büyük miktarda veriyi analiz ederek, daha önce ortaya çıkarılması zor olan kalıpları, eğilimleri ve korelasyonları belirleyebilmektedirler. Öngörücü analitik teknikleri, şirketlerin, talep dalgalanmaları, tedarik sıkıntıları veya ulaşım aksaklıkları gibi gelecekteki senaryoları öngörmesine yardımcı olmaktadır (Coreteka, 2023).

Küresel bir lojistik sağlayıcısı olan DHL, yük operasyonlarını optimize etmek için büyük veri analitiği kullanmaktadır. Geçmiş nakliye verilerini, hava durumu ve liman yoğunluğu gibi dış faktörleri analiz ederek, olası gecikmeleri tespit edebilmekte ve riskleri azaltmak için gerekli önlemleri alabilmektedir. Böylece DHL, müşterilerine daha güvenilir ve zamanında yük teslim hizmeti sunabilmektedir (DHL, 2025).

## **4. LOJİSTİK ve TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BÜYÜK VERİ UYGULAMALARI**

Üretim ve hizmet sektörleri kaynaklı veri miktarının artması, TZY’de, büyük veri kullanım ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. TZY’de, büyük veri kullanımının sağlayabileceği faydalar arasında, daha iyi karar alma, verimliliği artırma, maliyeti düşürme, daha iyi risk yönetimi, daha iyi görünürlük ve rekabet gibi çok sayıda etki yer almaktadır. TZY’de, büyük verinin uygulanması ve benimsenmesiyle ilgili zorluklar arasında ise bilgi teknolojileri yeterliliği ve altyapısı, yetenek yönetimi ve insan kaynağı, siber güvenlik, entegrasyon ve iş birliği, bilgi yönetimi, yönetim ve uyumluluk, finansal etkiler, etik ve yönetsel etki bulunmaktadır. Tüm bu olumlu/ olumsuz etkiler ve mevcut rekabet ortamında, şirketlerin mevzuat durumlarını koruması ve büyümesi için tedarik zincirlerini optimize edebilmeleri gerekmektedir (Wang vd., 2016: 108).

Şirketler, büyük miktarda veri toplamaktadır ve bu verilerin işlenmesi için yüksek standartlı kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı kararlar almak için iş verilerinin analiz edilmesi, şirketlerin rekabet gücü açısından hayati önem taşımaktadır. TZY’de, veri paylaşımı için kurumlar arası bilgi sistemleri kullanılmakta, veri depolama, işleme ve analizi için ise otomasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Veri girişi parametrelerinin, otomatik analiz ve karar alma süreçlerinden önce, şirket tarafından tanımlanması gerekmektedir. Veriler, talep tahmini, tedarik, envanter yönetimi, üretim veya hizmet planlaması, yeni ürün geliştirmede kullanılabilir. TZY’nin, hem yukarı hem de aşağı yönlü akışı dikkate alındığında, verinin sektörel rekabet ortamında hayati bir rolü bulunmaktadır. Bu nedenle, veriye dayalı karar alma, tedarik zinciri

yönetimindeki önemli unsurlardan biridir (Mohsen, 2022: 25). Günümüzde, TZY ve lojistik operasyonlar açısından büyük veri kullanımına dair çok çeşitli örnekler bulunmaktadır.

Bu örnekler arasında, gemilerin rıhtıma yanaşması için bekleme süresini, gemiye konteyner yükleme ve boşaltma için rıhtım süresini azaltmada kullanılan büyük veri analitiği bulunmaktadır. Bu uygulama, konteyner ve gemi operatörleri, terminal ile liman işletmeleri açısından oldukça önemlidir. Kısa bekleme ve rıhtım süresi, geminin daha fazla sefer yapması anlamına gelmekte, gemi işleticilerin karlılığına katkı sunmakta iken; terminal ve liman işletmeleri de daha fazla gemiye hizmet vermektedir. Aynı zamanda gemi rıhtım süresi, terminalde kullanılan ekipmanların türü ve sayısı ile terminalin teknolojik alt yapısı gibi çok sayıda değişkenden etkilenmektedir (Roy vd., 2020: 687).

Büyük veri, şirketlerin lojistik süreçlerinde, gereksiz adımları azaltmasına ve veri odaklı kararları entegre etmesine yardımcı olmaktadır. Örneğin, Hindistan Procter & Gamble, büyük veri analizi ile süreçleri basitleştirerek, tedarik zinciri bağlantı noktalarında, 2023 yılı için geçmiş yıllara kıyasla % 60'lık bir azalma sağlamıştır. Bu, operasyon hızının artması, maliyetin azalması ve verimlilik artışına sebep olmuştur.

Amazon, tedarik zinciri operasyonları için büyük veri kullanarak öngörücü bakım sağlamaktadır. Şirket, 192 fabrika ve 34.810 araç ve tesisi izlemek için 104.000'den fazla “Amazon Monitron” sensörü konuşlandırmıştır. Böylece, plansız ekipman arıza sürelerinde % 69 oranında azalma sağlayarak yaklaşık 37,83 milyon dolar tasarruf sağlamıştır.

General Elektrik'in dijital ikiz teknolojisi, fiziksel varlıkların veya süreçlerin gerçek zamanlı simülasyonunu ve optimizasyonunu sağlamaktadır. Talep dalgalanmaları ve iş gücü eksiklikleri gibi zorlukları ele alan süreç, ürün israfını % 75, kalite şikayetlerini % 38 azaltmakta ve verimi ise % 5-20 artırmaktadır.

Siemens, geri çağırma ve sahteciliği azaltma sürecinde, tam izlenebilirlik sağlamak, geri çağırma ve sahteciliği yönetmek için blockchain ve IoT platformu “MindSphere”i kullanmaktadır. Yiyecek ve içecek şirketlerinin % 56'sı yılda en az bir geri çağırmayla karşı karşıya kalmakta ve bu da Siemens açısından yıllık 9,5 milyon avruluk doğrudan maliyete, ayrıca 50-60 milyon avruluk satış kaybı, itibar kaybına yol açmaktadır.

DHL, Wise Systems'ın yapay zeka destekli yazılımını üzerinden gerçek zamanlı gönderi verileri ile teslimat önceliklerini ve zamana duyarlı gereksinimleri göz önünde bulundurarak doğru teslimat tahmini yapmaktadır. Bu tahmin ile rota saniyeler içinde hassas bir şekilde belirlenmektedir. Böylece kuryeler, rotalarını optimize ederek teslimat miktarını % 90-95 doğrulukla tahmin etmektedir.

Deloitte ve Nestlé ABD, yitık veri gruplarını ortadan kaldıran bir Microsoft Azure veri havuzu oluşturmak için iş birliğı yapmıştır. 400'den fazla rapor incelenip, 15'ten fazla veri kaynağı entegre edilerek yöneticilere özet raporlama ve öngörüler sağlanmakta ve artan iş değeri oluşturulmaktadır. Böylece dört yılda 200 milyon doların üzerinde iş hacmi üretilmiştir.

Walmart'ın rota optimizasyon teknolojisi, seyahat mesafelerini en aza indirmekte ve rotaları optimize etmektedir. Böylece Walmart, 94 milyon pound değerinde karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunu önlemiştir. Şirket, sıcaklık ve nemi izlemek için soğuk zincirinin her yerine IoT sensörleri yerleştirmiş ve sürekli izleme ile ürünlerin bozulmasını azaltmakta ve taşıma boyunca kaliteyi garantilemektedir.

UPS, Deal Manager gibi araçlar aracılığıyla tedarik zinciri yönetiminde büyük veri analitiğini kullanmakta ve dinamik fiyatlandırma sağlamaktadır. Bu sistem, küçük ve orta ölçekli işletmeler için gerçek zamanlı fiyatlandırma öngörülerini sağlayarak % 80'lik bir başarı sağlamıştır. Şu anda, 1 milyon doların altındaki anlaşmaların % 95'i bu aracı kullanmaktadır.

Coca-Cola, satış verilerini ve piyasa trendlerini analiz ederek talebi % 90 doğrulukla tahmin etmekte; tüketici ihtiyaçlarını tespit ederek, üretim programlarını gerçek zamanlı olarak ayarlamaktadır. Bu iyileştirme, yüksek talep gören ürünlerin stokta bulunmasını sağlarken, envanter fazlasını ortadan kaldırmakta ve stok maliyetini en aza indirmeye yardımcı olmaktadır (Acropolium, 2024).

Uber Freight, gereksiz sürücü kilometrelerini azaltmak için yapay zeka destekli platformunu 2023 yılında kullanıma sunmuştur. Trafik, hava ve yol koşullarını analiz ederek boş sefer sayısı % 10-15 oranında azaltılmış ve böylece taşıyıcılara, önceden belirlenmiş fiyatlandırma seçenekleri sunulmaktadır. Şirket, o zamandan beri Fortune 500 müşterileri için 20 milyar ABD dolarının üzerinde yük taşımacılığı gerçekleştirmiştir

Volvo, kamyonlarını yolda tutmak için büyük veri ve akıllı teknolojilerden sonuna kadar yararlanmaktadır . Gerçek zamanlı bağlantı sayesinde her kamyon, motor sağlığı ve fren koşulları hakkında merkez istasyona, sürekli veri akışı sağlamaktadır. Volvo'nun sistemleri, tüm bu bilgileri analiz ederek en küçük sorunları bile erkenden, hatta bazen sürücü fark etmeden önce tespit etmektedir (CHI Software, 2025).

## SONUÇ

Büyük veri analizi, lojistik ve tedarik zinciri hizmetlerinde faaliyet gösteren işletmelerin, sektörel değişimi takip edebilmelerine katkı sağlamaktadır. Günümüz koşullarında bu tür işletmeler, oldukça rekabetçi ve hızla değişen bir pazar ortamıyla karşı karşıyadır. Taşıma aracına yük bulma dışında, taşımacılığa dair çok sayıda sorun, işletmelerin, veri analizi yoluyla gelecekteki pazar tahmininde bulunmamasından kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle yalnızca anlık iş büyümesini görmekte, taşıma kapasitesini ve depolama alanını artırma konusunda hareket etmemektedirler. Pazarın daralmasına bağlı iş hacminde azalma meydana geldiğinde, oluşan büyük miktardaki fazla kapasite ve boş depolama alanı, işletmelerin dönem sonu zararlarını artırmaktadır. Büyük veri analizi kullanan işletmeler, gelecekteki pazar bilgisi ve rakiplerin davranışları hakkında daha net tahminlerde bulunabilecek, gelişim stratejilerini zamanında düzenleyebilecek ve bilinçsiz varlık yatırımlarından kaçınarak, kayıplarını azaltabileceklerdir. Büyük veri analizi, lojistik ve tedarik zinciri işletmelerinin, müşteri sadakatini artırmasına da yardımcı olabilecektir. Müşteri davranış analizi, tanıtım yatırımlarının, tedarik zinciri yatırımlarının getirisinin artmasına da katkı sağlayabilecektir. Gelişmiş istatistiksel yöntemler kullanan işletmeler, oluşturulan matematiksel model ile kullanıcıların geçmiş kayıtları üzerinden yapılan analiz yapabilir, müşterilerin gelecekteki davranışlarını tahmin edebilir ve ileriye dönük bir lojistik hizmet planı tasarlayabileceklerdir.

Büyük veri analizi, lojistik ve tedarik zinciri sektörlerinde, hizmet yönetiminin şeffaflığını ve kalitesini artırmaktadır. Açık veri uygulaması ile iletişiminin artırılması, bilgi paylaşımı yoluyla operasyonların ve organizasyonun daha şeffaf, kontrol ve takip edilebilir olması sağlanabilecektir. Bu süreç, hizmet kalitesinin iyileştirilmesine de katkı sağlayabilecektir. Sektörün hizmet sağlayıcıları tarafından belirlenen operasyon ve performans göstergelerine göre veriler analiz edilerek, görselleştirilmiş bir akış şeması ve gösterge paneli oluşturulmaktadır. Şu an bu süreci test eden dünyaca ünlü lojistik şirketleri, bunu aktif, şeffaf, açık ve iş birlikçi şirketlerin inşasının bir parçası olarak görmektedirler. Hizmet kalitesi ve performans verilerinin erişime açılması, müşterilerin daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olacak ve bu da lojistik hizmet sağlayıcısının, genel performansını iyileştirmesine ve nihayetinde rekabet gücünü artırmasına katkı sağlayabilecektir.

Lojistik ve tedarik zinciri işletmeleri, büyük veri analizi ile mevcut kullanıcıların potansiyelini anlamakla kalmayıp, aynı zamanda yeni kullanıcılara da hızlı bir erişim sağlayabilecektir. Büyük veri analizi, bilgi etkileşiminin teşvik edilmesi, hizmet ayarlamalarının yapılması, fiyat değişiklikleri, pazar değişiklikleri, diğer bilgilerin müşterilere iletilmesi, müşteri

ihtiyaçlarındaki değişimin karşılanabilmesi ile sektördeki yerleşmiş kuralları, devrim niteliğinde değiştirmektedir.

Büyük veri analizi, lojistik ve tedarik zinciri işletmelerinin kârlılık modelini optimize edebilmektedir. Sektör temsilcilerinin oluşturduğu ağ platformları ile müşteriler ve piyasa koşulları hakkında çok sayıda veri üretilirken, gelişmiş veri analizleri ile müşterilerin ve hizmet sağlayıcılarının, karar alma yeteneği de geliştirilmektedir. Büyük veri analizinin, lojistik ve TZY’de yapacağı katkılar ortadayken, maalesef bu konuda henüz istenilen gelişim ortamı sağlanamamıştır. Mevcut tedarik zinciri yöntemleri, hala geleneksel yönetim yönteminde kalmakta ve daha dijital büyük veri analiz yönteminden yoksun bulunmaktadır. Bunun sebepleri arasında, özellikle bilgi iletişim altyapısının ihtiyaç duyduğu sermaye yatırımının yetersizliği, sektör temsilcilerinin bilgi çağının ihtiyaçlarına cevap verememesi gibi çeşitli etkenler bulunmaktadır (Haijun ve Long, 2021: 10).

Bu nedenle hükümet yetkililerinin, büyük veri çağının gerekliliklerine uygun şekilde lojistik ve TZY sektörlerinde politika oluşturma, kaynak girdisi açısından büyük veri teknolojisine destek sağlaması, bilgi engellerini ortadan kaldırarak sağlıklı ve güvenli bir büyük veri ekolojik ortamı yaratmak adına gerekli koşulları sağlaması gerekmektedir. Ayrıca, makro düzeyde uzun vadeli bir plan geliştirerek, veri paylaşım platformu oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Lojistik sektörünün, çeşitli ulaşım modlarıyla ilişkilerini güçlendirerek, ulaşım sistemlerini bilgi platformlarıyla entegre etmesi, modern bir lojistik bilgi işleme platformu kurmak için mevcut bilgi altyapısının gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. İşletmelerin, büyük veri sisteminden elde edilen veri bilgilerini analiz ve entegre ederek eksiksiz bir veri yaşam döngüsü kontrolüne sahip olması gerekmektedir. Tedarikçi ve alıcının, lojistik yönetim platformunu kullanarak bilgi paylaşımı, anlaşma yapma ve lojistik çözüm planını oluşturma gibi geniş lojistik hizmet seçeneklerinden yararlanabilmesi gerekmektedir (Wang vd., 2017: 4).

Yeni bir teknoloji olarak büyük veri, lojistik işletmelerini geleneksel lojistikten veri lojistiğine, giderek bulut lojistiğine doğru dönüştürerek, lojistik ve TZY açısından, hem fırsatlar hem de zorluklar oluşturacaktır. Gelecekte, bulut lojistik uygulamalarının yaygınlaşması ve daha büyük veri kümelerinin ortaya çıkması beklenmektedir. Dolayısıyla, büyük veri teknolojisinin lojistik ve TZY sektörlerinde doğru bir şekilde kullanılması, işletmelerin etkin ve verimli büyümeleri için önem taşımaktadır.

Bu çalışma, literatürdeki mevcut araştırmaları bütüncül biçimde değerlendirerek, lojistik ve TZY sektörleri açısından büyük veri analitiğinin önemini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalar açısından, büyük veri

analitiğinin unsurlarından, öngörücü ve tanımlayıcı analitik üzerine daha fazla araştırmayı ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle öngörücü analitik sürecinin çalışma şeklini anlama ve bunun ticari olarak kullanılabilirliğini formüle etme konusunda eksiklikler bulunmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Acropolium, (2024). <https://acropolium.com/blog/big-data-in-supply-chain-real-world-use-cases-and-success-stories/#:~:text=The%20role%20of%20big%20data,data%20about%20weather%20and%20traffic>. Ziyaret tarihi: 10.11.2025.
- Bag, S., Wood, L.C., Xu, L., Dhamija, P. ve Kayikci, Y. (2020). Big Data Analytics as an Operational Excellence Approach to Enhance Sustainable Supply Chain Performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 153(1), 1-10.
- Barreto, L., Amaral, A. ve Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in Logistics: an Overview. *Procedia Manufacturing*, 13(1), 1245-1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Chauhan, S., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S.V., Twala, B. ve Priyadarshi, N. (2023). Digitalization of Supply Chain Management with Industry 4.0 Enabling Technologies: A Sustainable Perspective. *Processes*, 11(96), 1-22. <https://doi.org/10.3390/pr11010096>
- CHI Software, (2025). <https://chisw.com/blog/big-data-in-logistics/>. Ziyaret tarihi: 06.11.2025.
- Coreteka, (2023). <https://coreteka.com/blog/big-data-use-cases-in-logistics-7-examples-of-how-to-improve-operations/>, Erişim tarihi: 22.10.2025.
- DHL, (2025). <https://dhl-freight-connections.com/en/trends/big-data-in-logistics-what-is-the-true-value-of-data/>, Erişim tarihi: 20.10.2025.
- Ertz, M., Latrous, I., Dakhlou, A. ve Sun, S. (2024). The Impact of Big Data Analytics on Firmsustainable Performance. *Corporate Social Responsibility And Environmental Management*, 32(1), 1261-1278. DOI10.1002/csr.2990
- Flow Space, (2023). <https://flow.space/blog/big-data-logistics-supply-chain/>, Erişim tarihi: 21.10.2025
- Gorman, M.F., Clarke, J-P., Koster, R.D., Hewitt, M., Roy, D. ve Zhang, M. (2023). Emerging Practices A,and Research Issues for Big Data Analytics in Freight Transportation. *Maritime Economics & Logistics*, 25(1), 28–60. <https://doi.org/10.1057/s41278-023-00255-z>
- Govindan, K., Cheng, T.C.E., Mishra, N. ve Shukla, N. (2018). Big Data Analytics and Application for Logistics and Supply Chain Management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 114(1), 343-349.
- Gupta, A., Dwivedi, A. ve Paul, S. K. (2025). Developing a Sustainability Index for Implementing Big Data Analytics in the Logistics Sector. *Sustainable Development*, 1-21. <https://doi.org/10.1002/sd.70024>

- Haijun, M. ve Long, C. (2021). E-Commerce Enterprise Supply Chain Cost Control under the Background of Big Data. *Hindawi Complexity*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/6653213>
- Hasan, R., Kamal, M. M., Daowd, A., Eldabi, T., Koliousis, I. ve Papadopoulos, T. (2024). Critical Analysis of the impact of Big Data Analytics on Supply Chain Operations. *Production Planning & Control*, 35(1): 46-70. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2047237>
- IBM, (2025). <https://www.ibm.com/think/insights/hadoop-vs-spark>. Erişim tarihi: 10.10.2025
- Ittmann, H. W (2015). The Impact of Big Data and Business Analytics on Supply Chain Management. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 9(1): 1-9. <http://dx.doi.org/10.4102/jtscm.v9i1.165>
- Jin, D.- H. ve Kim, H. - J. (2018). Integrated Understanding of Big Data, Big Data Analysis, and Business Intelligence: A Case Study of Logistics. *Sustainability*, 10(1): 1-15. <http://dx.doi.org/10.3390/su10103778>
- Kalenyuk, I., Riashcenko, V. ve Uninets, I. (2024). Smart Marketing and Global Logistics Networks. *Baltic Journal of Economic Studies*, 10(2), 113-122. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-2-113-122>
- Kazancoglu, Y., Ozbiltekin-Pala, M., Sezer, M.D., Kumar, A. ve Luthra, S. (2022). Circular Dairy Supply Chain Management Through Internet of Things-Enabled Technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17697-8>
- Lai, Y., Sun, H. ve Ren, J. (2018). Understanding the Determinants of Big Data Analytics (BDA) Adoption in Logistics and Supply Chain Management: An Empirical Investigation. *International Journal of Logistics Management*, 29(2), 676–703. DOI10.1108/IJLM-06-2017-0153
- Loon, L.K. ve Peing, L.C. (2019). Big Data and Predictive Analytics Capabilities: A Review of Literature on Its Impact on Firm's Financial Performance. *FGIC 2nd Conference on Governance and Integrity, KnE Social Sciences*, 1057-1073. DOI 10.18502/kss.v3i22.5111
- Mathias, T. N., Inutsuka, H., Shinoda, T., Sugimura, Y. (2024). Operational Performance Evaluation of a Container Terminal Using Data Mining And Simulation. *Asian Transport Studies*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2024.100127>
- McKinsey, (2016). <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/big-data-and-the-supply-chain-the-big-supply-chain-analytics-landscape-part-1>, Erişim tarihi: 21.10.2025

- Medium, (2021). <https://ssagarsahoo.medium.com/big-data-analytics-at-ups-a-case-study-eble87be965e>. Ziyaret tarihi: 04.11.2025
- Medium, (2024). <https://medium.com/@dixitjigar/what-is-big-data-in-supply-chain-understand-the-power-of-big-data-and-predictive-analytics-b9a8adb0de93>. Ziyaret tarihi: 08.11.2025.
- Mohsen, B. M. (2022). Role of Big Data in Supply Chain Management. *International Journal of Management*, 13(5): 24-40. <https://doi.org/10.34218/IJM.13.5.2022.003>
- Nobrega, J. H. C., Rampasso, I. S., Sanzhez-Rodrigues, V. S., Quelhas, O. L. G., Filho, W. L., Serafim, M. P. ve Anholon, R. (2021). Logistics 4.0 in Brazil: Critical Analysis and Relationships witt SDG 9 Targets. *Sustainability*, 13(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su132313012>
- OpenLogic, (2025). <https://www.openlogic.com/blog/spark-vs-hadoop>. Erişim tarihi: 10.10.2025
- Oyewo, B., Ajibola, O. ve Ajape, M. (2021). Characteristics of Consulting Firms Associated with the Diffusion of Big Data Analytics. *Journal of Asian Business and Economic Studies*, 28(4): 281–302.
- Purkayastha, D. ve Babu, K. V. (2017). Big Data Strategy of Procter & Gamble: Turning Big Data into Big Value. *IBS Center for Management Research*, 1-13.
- Qureshi, K.M., Mewada, B.G., Kaur, S., Han, A., El-Kahtani, M.M. ve Kureyşi, M.R.N.M. (2024). Investigating Industry 4.0 Technologies In Logistics 4.0 Usage Towards Sustainable Manufacturing Supply Chain. *Heliyon*, 10(10), 1-11.
- Roy, D., Koster, R-D. ve Bekker, R. ( 2020). Modeling and Design of Container Terminal Operations. *Operations Research*, 68(3): 686–715. <https://doi.org/10.1287/opre.2019.1920>
- Sathyan, R., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., ve Minz, A. (2021). A Combined Big Data Analytics and Fuzzy DEMATEL Technique to Improve The Responsiveness of Automotive Supply Chains. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(7), 7949-7963.
- Thekkoote, R. (2022). Understanding Big Data-Driven Supply Chain and Performance Measures for Customer Satisfaction. *Benchmarking: An International Journal*, 29(8), 2359–2377.
- Thread in Motion, (2023). <https://www.threadinmotion.com/en/blog/the-role-of-big-data-in-logistics-and-supply-chain-management>. Erişim tarihi: 20.10.2025.

- Vincek, Z.L., Gregurec, I. ve Kovšca, V. (2023). Exploring The Trend of The Research on Logistics 4.0. *Logforum*, 19(3), 359-409. DOI: <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.859>
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T. ve Papadopoulos, T. (2016). Big Data Analytics in Logistics and Supply Chain Management: Certain Investigations for Research and Applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.
- Wang, Y., Feng, L., Chang, H. ve Wu, M. (2017). Research on the Impact of Big Data on Logistics. *MATEC Web of Conferences* 100, 1-5. DOI: 10.1051/ 710002015
- Xu, J., Pero, M. ve Fabbri, M. (2023). Unfolding the Link Between Big Data Analytics and Supply Chain Planning. *Technological Forecasting & Social Change*, 196, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122805>
- Yin, Y., Chu, F., Dolgui, A., Cheng, T. C. E. ve Zhou, M. C. (2022). Big Data Analytics in Production and Distribution Management. *International Journal of Production Research*, 60(22): 6682–6690. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2130589>
- Zeng, X. ve Yi, J. (2023). Analysis of the Impact of Big Data and Artificial Intelligence Technology on Supply Chain Management. *Symmetry*, 15 (9), 1-17. <https://doi.org/10.3390/sym15091801>
- Zhan, Y., ve Tan, K. H. (2020). An Analytic Infrastructure for Harvesting Big Data to Enhance Supply Chain Performance. *European Journal of Operational Research*, 281(3), 559-574.