

Otonom Lojistiğin Mevcut Durumu, Zorlukları ve Geleceğe Dair Beklentiler

Irmak Hatipoğlu¹

Özet

Son yıllarda yapay zekâ, robotik ve otomasyon teknolojilerindeki ilerlemelerin, lojistik sektörünü köklü bir değişime doğru yönlendirdiği görülmektedir. Otonom lojistik, taşımacılık süreçlerinde verimlilik, maliyet tasarrufu ve sürdürülebilirlik sağlamayı amaçlayan yenilikçi çözümler sunmaktadır. Sürücüsüz kamyonlar, insansız hava araçları (İHA) ve robotik depo sistemleri gibi teknolojiler, lojistik operasyonlarını daha hızlı, hatasız ve optimize edilmiş hale getirme potansiyeline sahiptir. Ancak, bu sistemlerin benimsenmesi ve yaygınlaşması teknik, düzenleyici, ekonomik ve toplumsal engellerle karşı karşıyadır. Otonom lojistik sistemlerinin başarısı, güvenilirlik, altyapı gereksinimleri, siber güvenlik tehditleri ve düzenleyici çerçeveler gibi faktörlere bağlıdır. Bu çalışma, otonom lojistiğin mevcut durumunu ve sağladığı avantajları ele alarak, karşılaştığı temel zorlukları incelemekte ve gelecekte sektör üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Otonom lojistik sistemlerinin lojistik sektöründe kalıcı bir dönüşüm yaratabilmesi için düzenleyici süreçlerin hızlandırılması, altyapı yatırımlarının artırılması ve iş gücünün bu dönüşüme uyum sağlaması büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, otonom lojistiğin küresel tedarik zincirleri, şehir planlaması ve lojistik iş modelleri üzerinde dönüştürücü bir etkisi olacağı öngörülmektedir.

1. Giriş

Son yıllarda, yapay zekâ, robotik ve otomasyon teknolojilerindeki gelişmeler, lojistik sektöründe köklü bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Otonom lojistik, tedarik zinciri süreçlerini daha hızlı, daha verimli ve maliyet açısından daha düşük hale getirmeyi amaçlayan yenilikçi çözümler sunmaktadır. Günümüzde sürücüsüz kamyonların uzun mesafeli taşımacılıkta kullanımı, İHA'ların son kilometre teslimatlarını gerçekleştirebilmesi ve

1 Arş. Gör. Dr. Irmak Hatipoğlu, Akdeniz Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, irmakdaldir@akdeniz.edu.tr, 0000-0001-5244-9115

akıllı depoların robotlar tarafından yönetilmesi gibi uygulamalar, otonom lojistiğin sunduğu dönüşüm potansiyelini gözler önüne sermektedir (Reed vd., 2021)

Otonom lojistik sistemleri, lojistik operasyonlarında insan hatasını en aza indirir. Bu sayede teslimat süreleri kısılırken, yakıt ve iş gücü maliyetleri azalır. Aynı zamanda, lojistik ağlarının daha esnek hale gelmesine katkı sağlar. Özellikle e-ticaretin hızla büyümesi, tüketicilerin daha kısa teslimat süreleri beklemesi ve sürdürülebilir taşımacılık çözümlerine yönelik artan talep, otonom lojistiğin önemini daha da artırmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin lojistik süreçlerine entegrasyonu, sadece taşımacılık ve depolama süreçlerini değil, aynı zamanda şehirlerin altyapısını, istihdam dinamiklerini ve küresel tedarik zinciri yapılarını da dönüştürme potansiyeline sahiptir (He & Csiszár, 2021). Ancak, otonom lojistik sistemlerinin geniş çapta benimsenmesi birtakım zorlukları da beraberinde getirmektedir. Teknolojik gelişmelerin hızına rağmen, bu sistemlerin güvenilirliği, altyapı gereksinimleri, düzenleyici çerçeveler ve iş gücü üzerindeki etkileri gibi kritik konular, sektör paydaşları ve politika yapımcılar açısından önemli tartışma alanlarıdır (Hoffmann & Prause, 2023). Örneğin, otonom kamyonların ve drone'ların farklı ülkelerdeki yasal mevzuata uyum sağlaması, bu teknolojilerin ticari ölçekte benimsenmesini sınırlayan temel faktörlerden biri olarak görülmektedir. Benzer şekilde, siber güvenlik tehditleri ve yapay zekâ tabanlı karar verme mekanizmalarının güvenliği, otonom lojistiğin uygulanabilirliğine dair önemli soru işaretleri doğurmaktadır.

Bu çalışmada, otonom lojistiğin mevcut durumu ve kısa vadeli gelişmeleri analiz edilerek, uzun vadede sektör üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Öncelikle otonom lojistik sistemlerinin sağladığı verimlilik ve maliyet avantajları ele alınacak, ardından bu teknolojilerin karşılaştığı teknik, hukuki, ekonomik ve toplumsal engeller incelenecektir. Son olarak, otonom lojistik sistemlerinin geleceğe yönelik dönüşüm potansiyeli ve sektör üzerindeki uzun vadeli etkileri değerlendirilecektir. Otonom lojistik teknolojileri, yalnızca teorik bir dönüşümden ibaret değildir; aksine, operasyonel verimlilikten maliyet tasarrufuna ve sürdürülebilir taşımacılığa kadar geniş çapta somut faydalar sunmaktadır. Devam eden bölümde, otonom lojistiğin sağladığı temel avantajlar detaylandırılacaktır.

2. Otonom Lojistiğin Faydaları

Otonom lojistik sistemleri, taşımacılık süreçlerinde verimliliği artırarak operasyonel maliyetleri düşürme, teslimat sürelerini kısaltma ve lojistik ağlarının daha esnek hale gelmesini sağlama potansiyeline sahiptir.

Yapay zekâ, büyük veri analitiği ve robotik teknolojilerin entegrasyonu sayesinde, lojistik süreçler daha hızlı, hatasız ve optimize edilmiş bir şekilde yürütülebilmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca işletmelerin rekabet avantajını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir lojistik çözümlerine de zemin hazırlamaktadır.

Geleneksel lojistik sistemlerinde insan hataları, trafik sıkışıklığı, iş gücü maliyetleri ve yakıt tüketimi gibi unsurlar operasyonel verimliliği sınırlayan temel faktörlerdir. Otonom lojistik çözümleri, sürücüsüz kamyonlardan İHA'lara ve robotik depo sistemlerine kadar geniş bir yelpazede inovasyon sunarak bu sorunların büyük ölçüde önüne geçmektedir. Örneğin, otonom taşıma sistemleri sayesinde araçlar, trafik yoğunluğu ve hava durumu gibi değişkenlere göre en uygun rotaları belirleyerek zaman kaybını en aza indirebilmektedir. Benzer şekilde, akıllı depo otomasyonu, sipariş işleme süreçlerini hızlandırarak operasyonel verimliliği artırmaktadır.

Bununla birlikte, otonom lojistik sistemleri, sadece ekonomik kazanımlar değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Elektrikli ve otonom araçların kullanımının yaygınlaşması, karbon emisyonlarını azaltarak çevresel etkileri minimize etmekte ve lojistik sektörünü daha yeşil bir geleceğe taşımaktadır. Ayrıca, optimize edilmiş teslimat rotaları ve filo yönetimi stratejileri, enerji tüketimini düşürerek lojistik operasyonların ekolojik ayak izini azaltmaktadır.

Bu bölümde, otonom lojistik sistemlerinin sunduğu temel avantajlar ele alınarak, sektör üzerindeki etkileri incelenecektir.

2.1 Verimlilik ve Maliyet Azaltma

Otonom lojistik sistemleri, insan hatalarını minimize ederek operasyonel verimliliği artırmakta ve teslimat sürelerini kısaltmaktadır. Yapılan çalışmalar, bu sistemlerin toplam işletme maliyetini %56'ya kadar azaltabileceğini ve kötümser senaryolarda bile firmalara aylık bazda ciddi tasarruf sağlayabileceğini göstermektedir (Lee vd., 2023).

Otonom kamyonlar ve drone entegrasyonuna dayalı lojistik modeller, operasyonel verimliliği artırırken taşıma maliyetlerini düşürmektedir. McKinsey'nin analizlerine göre, tam otonom kamyonlar 1500 mil üzerindeki mesafelerde geleneksel kamyonlara kıyasla kilometre başına maliyeti %42 oranında azaltabilmektedir (McKinsey & Company, 2024). Benzer şekilde, Ostermeier ve Reed'in (2023, 2021) çalışmaları, otonom sistemlerin lojistik maliyetleri %24'e kadar düşürebileceğini ve teslimat süreçlerini %30 ila %77 oranında hızlandırabileceğini ortaya koymaktadır.

Kent içi taşımacılıkta ise otonom modüler araç teknolojileri, operasyonel maliyetleri optimize ederek trafik sıklığına azaltmakta ve son mil teslimatında ek tasarruflar sağlamaktadır (Shafice vd., 2024). Bunun yanı sıra, drone ve otonom araçların entegre edilmesiyle nakliye maliyetlerinin düşmesi, teslimat hızının ve güvenilirliğinin artması beklenmektedir. Bu gelişmeler, hem lojistik firmaları hem de şehir içi taşımacılık sistemleri için daha sürdürülebilir ve maliyet etkin çözümler sunarak sektörün geleceğini şekillendirmektedir.

2.1.1 Verimliliği Artırmak için Temel Mekanizmalar

Otonom lojistik sistemleri, gelişmiş algoritmalar, robotik süreç otomasyonu ve yapay zekâ destekli optimizasyon modelleri sayesinde verimlilik artışı sağlamak ve maliyetleri düşürmektedir. Bu süreçte kullanılan temel mekanizmalar aşağıda ele alınmaktadır.

2.1.1.1 Optimize Edilmiş Rotalama ve Çizelgeleme

Otonom lojistik sistemleri, IoT destekli sistemler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı optimizasyon modelleri kullanarak, araçların en kısa ve en az yakıt tüketen rotaları belirlemesini sağlar. Gelişmiş yapay zekâ algoritmaları, araçların trafik yoğunluğuna ve hava koşullarına göre en verimli rotayı seçmesine yardımcı olur. Bu süreç, müşteri memnuniyetini artırırken yakıt tüketimini ve nakliye maliyetlerini azaltmaktadır (Abosuliman & Almagrabi, 2021).

2.1.1.2 Otonom Araçların Entegrasyonu

Otonom kamyonların ve araçların lojistik sistemlerine entegre edilmesi, sürücü kaynaklı hataları ortadan kaldırarak ve kesintisiz operasyon sağlayarak %30'a varan verimlilik artışı sunmaktadır (Ibiyemi & Olutimehin, 2024) Geleneksel kamyonlar, sürücü molaları ve yasal çalışma saatleri nedeniyle belirli sürelerle durmak zorunda kalırken, otonom araçlar 7/24 çalışabilir ve bu da teslimat sürelerini ciddi ölçüde kısaltır (Abosuliman & Almagrabi, 2021).

2.1.1.3 Robotik ve Otomasyonun Lojistiğe Entegrasyonu

Otonom mobil robotlar (AMR) ve insansız depo araçları, depolama alanlarını daha etkin kullanarak insan gücüne olan bağımlılığı azaltmakta ve 24/7 operasyon imkânı sunarak lojistik süreçlerin kesintisiz devam etmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sensör füzyonu ve makine öğrenimi tabanlı sistemler, depo içi trafiği dinamik olarak yöneterek çarpışmaları önlemekte ve iş güvenliğini artırmaktadır. Bu süreçte yapay zekâ destekli SLAM

(Simultaneous Localization and Mapping) ve A* (A-Star) algoritmaları devreye girerek depolarda gerçek zamanlı navigasyon ve optimizasyon sağlamaktadır. Bu sistemler, depo içi taşıma süreçlerini hızlandırarak sipariş işleme sürelerini kısaltmakta, hata oranlarını düşürmekte ve stok yönetimini daha verimli hale getirmektedir. Bu teknolojilerin entegrasyonu, yalnızca hız ve doğruluk sağlamakla kalmayıp enerji tüketimini azaltarak sürdürülebilir lojistik uygulamalarına da katkı sunmaktadır. Gelişmiş otomasyon zmleri sayesinde lojistik operasyonlarında esneklik artarken, müşteri taleplerine daha hızlı ve güvenilir yanıt verilebilmektedir (Sun & Zeng, 2024).

2.1.1.4. Drone ve Kamyon Senkronizasyonu

Kamyon-drone senkronizasyonu, yalnızca müşteri bekleme süresini %60'a kadar azaltmakla kalmayıp, lojistik ağlarının daha esnek ve lklenebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Özellikle son mil teslimatlarında, geleneksel yöntemlere kıyasla operasyonel maliyetleri düşürme ve taşıma verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu iş birliği modeli, hem teslimat hızını artırarak müşteri memnuniyetini yükseltmekte hem de Şehir içi dağıtım süreçlerinde trafik yoğunluğunu azaltarak lojistik sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır (Das vd., 2021; Moshref-Javaldi vd., 2021).

2.2 Sürdürülebilir Uygulamalar ve evresel Etkiler

Otonom lojistik sistemleri, yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp, çevresel sürdürülebilirliğe de önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle Coğrafı Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı rota optimizasyonu, elektrikli ve hibrit otonom araçların kullanımı, yakıt tüketimini azaltan filo yönetimi stratejileri ve karbon ayak izini minimize eden yenilikçi lojistik zmleri, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik kritik adımlar arasında yer almaktadır (Kitjacharoenchai vd., 2020).

Elektrikli otonom araçların lojistik operasyonlarına entegrasyonu, fosil yakıt kullanımını azaltarak hava kirliliği ve karbon emisyonlarını düşürme potansiyeline sahiptir. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla, elektrikli araçların kullanımı, hem karbon salınımını hem de gürültü kirliliğini önemli lde azaltmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şarj edilen otonom lojistik filoları, lojistik sektöründe yeşil dönüşümü hızlandırarak karbon nötr taşımacılık hedeflerine ulaşılmasını desteklemektedir.

Bunun yanı sıra, yapay zekâ destekli dinamik rota optimizasyon sistemleri, trafik sıklıklığını ve gereksiz yakıt tüketimini önleyerek çevresel etkileri en aza indirmektedir. Bu sistemler, hava durumu, yol durumu ve trafik

yoğunluğu gibi faktörleri analiz ederek en verimli güzergâhları belirlemekte ve lojistik operasyonlarının enerji verimliliğini artırmaktadır.

Depo yönetimi ve tedarik zinciri süreçlerinde sürdürülebilirlik odaklı otomasyon sistemleri de çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Akıllı depo sistemleri, enerji verimli aydınlatma, ısıtma-soğutma ve otomatik stok yönetimi çözümleriyle gereksiz enerji tüketimini önlemekte ve lojistik tesislerinin çevresel ayak izini küçültmektedir.

Ayrıca, son mil teslimatlarında drone ve otonom araçların kullanımı, geleneksel içten yanmalı motorlarla çalışan teslimat araçlarına kıyasla enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Elektrikli drone ve otonom teslimat robotları, özellikle yoğun kent bölgelerinde emisyonları düşürerek şehir içi hava kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak, otonom lojistik sistemleri, operasyonel verimlilik ve maliyet avantajlarının yanı sıra sürdürülebilir lojistik uygulamalarına da önemli katkılar sağlamaktadır. Elektrikli araçlar, yapay zekâ tabanlı rota optimizasyonu ve otomatik depo yönetim sistemleri gibi teknolojiler sayesinde lojistik operasyonları daha hızlı, güvenilir ve çevre dostu hale gelmektedir. Ancak, bu dönüşüm sürecinde çeşitli zorluklar da bulunmaktadır. Otonom lojistik sistemlerinin geniş çapta benimsenmesi için altyapı yatırımlarının artırılması, düzenleyici çerçevelerin oluşturulması ve teknolojik engellerin aşılması gerekmektedir. Bu bağlamda, bir sonraki bölümde otonom lojistik sistemlerinin karşılaştığı zorluklar ve engeller ele alınacaktır.

3. Zorluklar ve Engeller

Otonom lojistik sistemleri, operasyonel verimlilik ve maliyet avantajları sağlamakla birlikte, teknolojik, hukuki, ekonomik ve sosyal engellerle de karşı karşıyadır. Bu engellerin aşılması, teknolojinin benimsenme hızını ve sektörle entegrasyonunu belirleyen temel faktörlerden biridir. Aşağıda, otonom lojistik sistemlerinin karşılaştığı başlıca zorluklar ele alınmaktadır.

3.1 Teknolojik ve Operasyonel Engeller

Teknolojik ve operasyonel engeller; gelişmiş ve güvenilir otonom araç sistemlerinin geliştirilmesi zorunluluğu, altyapı yetersizlikleri ve siber güvenlik riskleri olarak ele alınacaktır.

3.1.1. Gelişmiş ve Güvenilir Otonom Araç Sistemleri Geliştirme Zorunluluğu

Otonom araçların lojistik sistemlerine entegrasyonu için navigasyon doğruluğu, batarya ömrü ve menzil sınırlamaları gibi teknik sorunların

giderilmesi gerekmektedir. Mevcut sensör sistemleri, Şehir trafiğinde beklenmedik engellerle karŐılaŐabilir. Ayrıca, karmaŐık hava koŐullarında güvenilir kararlar almakta zorlanmaktadır (Balaska vd., 2022).

3.1.2. Altyapı Yetersizlikleri

Mevcut karayolu ve lojistik altyapısı, otonom araçların güvenli ve verimli Şekilde çalışabilmesi için yeterli teknolojik donanıma sahip değildir. Otonom sistemlerin geniş çapta kullanılabilmesi için yol iŐaretleme sistemlerinin g¼ncellenmesi, akıllı trafik y¼netim sistemlerinin geliştirilmesi ve y¼ksek hızlı veri iletişim ağlarının oluşturulması gibi yatırımlar gerekmektedir (Nurgaliev vd., 2023; Stradner & Brunner, 2019).

3.1.3. Siber Güvenlik Riskleri

Otonom lojistik sistemleri, yapay zekâ, IoT ve bulut tabanlı veri paylaŐımı gibi dijital teknolojilere b¼y¼k ölç¼de bağımlıdır. Bu sistemlerin siber saldırılara açık olması, lojistik operasyonların sekteye uğramasına ve veri güvenliği ihlallerine yol açabilir. Güvenli yazılım altyapılarının oluşturulması ve veri Őifreleme yöntemlerinin geliştirilmesi, bu tehdidin azaltılması için kritik öneme sahiptir (Ibiyemi & Olutimehin, 2024).

3.2 D¼zenleyici ve Hukuki Engeller

B¼lgesel ve K¼resel D¼zeyde Standartlaşma Eksikliği: Otonom lojistik teknolojilerinin yaygınlaşabilmesi için k¼resel ölçekte d¼zenleyici çerçevelerin oluşturulması gerekmektedir. Ancak, her ũlkenin yasal d¼zenlemeleri farklı olduğu için, otonom araçların entegrasyonu karmaŐık hale gelmektedir (Ibiyemi & Olutimehin, 2024; Nurgaliev vd., 2023; Stradner & Brunner, 2019). Örneğin, bazı ũlkeler otonom araçların belirli yollar veya Őehirler arasında test edilmesine izin verirken, bazıları tamamen yasaklayabilmektedir. Almanya’da “uzaktan sürüŐ” (tele-driving) teknolojileri, otonom araçlara geçif sürecinde ara bir ç¼z¼m olarak değerlendirilmektedir. Buna karŐılık, ABD’de eyaletler arasında farklı d¼zenlemeler bulunmaktadır, bu da otonom taŐımacılıđın ulusal d¼zeyde uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Hoffmann & Prause, 2023).

3.3 Ekonomik ve Finansal Engeller

Y¼ksek BaŐlangıç Maliyetleri ve Belirsiz Yatırım Getirisi: Otonom lojistik sistemlerinin hayata geçirilmesi, y¼ksek teknoloji maliyetleri, altyapı geliştirme yatırımları ve bakım gereksinimleri nedeniyle b¼y¼k ölçekli finansal kaynak gerektirmektedir. Őirketler için yatırımın geri

dönüş süresi belirsizdir ve bu belirsizlik, otonom lojistik çözümlerine geçişi yavaşlatmaktadır (Mokonyama vd., 2022; Nurgaliev vd., 2023).

3.4 Toplumsal Kabul ve Algı Sorunları

Kamuoyunun Şüpheli Yaklaşımı ve Endüstri Paydaşlarının Direnci: Otonom lojistik sistemlerinin benimsenmesi, toplumun ve lojistik sektöründeki paydaşların bu teknolojilere duyduğu güvenle doğrudan ilişkilidir. Güvenlik endişeleri, olası iş kayıpları ve yapay zekâ sistemlerinin karar verme süreçlerine duyulan şüphe, otonom lojistik çözümlerinin benimsenmesini zorlaştırmaktadır (Nurgaliev vd., 2023; Stradner & Brunner, 2019).

Bu noktada, otonom araçların güvenliğini kanıtlamak amacıyla daha fazla test süreci yürütülmeli ve sektör paydaşlarıyla iş birliği güçlendirilmelidir. Otonom sistemlerin mevcut lojistik iş gücü üzerindeki etkilerinin analizinin yapılması ve istihdam kaybını dengeleyecek yeni iş modellerinin geliştirilmesi, bu teknolojiye duyulan güveni artırabilir.

3.5 Çevresel ve Hava Koşullarıyla İlgili Zorluklar

Otonom sistemlerin her türlü hava koşulunda güvenli bir şekilde çalışabilmesi gerekmektedir. Ancak, yoğun yağış, kar, sis gibi olumsuz hava koşulları, otonom sistemlerin sensör doğruluğunu ve karar verme süreçlerini olumsuz etkileyebilir (Nurgaliev vd., 2023). Gelişmiş yapay zekâ algoritmaları ve çevresel veri analiz sistemleri, otonom lojistik çözümlerinin her koşulda güvenli çalışmasını sağlamak açısından kritiktir. Otonom lojistik teknolojilerinin önündeki mevcut engeller, sektördeki dönüşüm hızını belirleyen temel faktörlerdir. Ancak, bu zorlukların aşılmasıyla birlikte, lojistik sektörde köklü değişimlerin yaşanması kaçınılmazdır. Gelecekte, bu sistemlerin yaygınlaşmasıyla iş modelleri, şehir içi taşımacılık dinamikleri ve sürdürülebilir lojistik yaklaşımları önemli ölçüde değişecektir. Aşağıdaki bölümde, otonom lojistik sistemlerinin uzun vadeli etkileri ve geleceğe yönelik beklentiler ele alınacaktır.

4. Uzun Vadeli Dönüşüm Beklentileri

Otonom lojistik sistemlerinin gelişimi, tedarik zinciri süreçlerini radikal bir şekilde dönüştürerek verimlilik, sürdürülebilirlik ve iş modeli inovasyonu açısından yeni fırsatlar sunmaktadır. Otonom kamyonlar, İHA'lar, otonom teslimat robotları ve tam otomatik depo sistemleri gibi çözümler, lojistik operasyonlarının geleceğini şekillendiren temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin geniş çapta benimsenmesi, stratejik

planlama, mevzuata uyum, enerji yönetimi ve güvenlik gibi konularda paydaşlar arasında iş birliği gerektirmektedir.

4.1 Otonom Teslimat Çözümlerinin Yaygınlaşması

Son kilometre lojistiğinde otonom teslimat çözümleri, şehir içi trafik yoğunluğunu azaltma, karbon emisyonlarını düşürme ve iş gücü ihtiyacını optimize etme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Otonom Teslimat Robotları (Autonomous Delivery Robots, ADR'ler) ve İnsansız Hava Araçları (Unmanned Aerial Vehicles, UAV'ler) gibi çözümler, kesintisiz operasyon sağlayarak kentsel lojistiği daha sürdürülebilir ve verimli hale getirebilir (Engesser vd., 2023).

PwC'nin analizlerine göre, 2024 itibarıyla dünya genelinde yaklaşık 5 milyon olan drone ile teslimat sayısının, 2034'e kadar 808 milyona ulaşması beklenmektedir. Aynı zamanda, insansız hava araçlarıyla teslimat maliyetlerinin %70 oranında azalacağı öngörülmektedir (PwC, 2018). Bu teknolojilerin yaygınlaşabilmesi için enerji tüketimi, mevzuata uyum ve güvenlik konularında paydaşlar arasında yakın iş birliği gerekmektedir (Engesser vd., 2023).

4.2 İş Modellerine Etkisi ve Yeni Stratejik Yaklaşımlar

Otonom kamyonların ve araçların lojistik sektörüne entegrasyonu, lojistik hizmet sağlayıcıları, orijinal ekipman üreticileri (OEM'ler) ve tedarikçiler arasındaki iş birliğini artırarak yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına yol açacaktır. Gelecekte, otonom sistemlere dayalı hizmet modellerinin yaygınlaşmasıyla birlikte lojistik süreçlerde esneklik artacak ve daha ölçeklenebilir çözümler geliştirilecektir².

Bu dönüşüme yatırım yapmayan firmalar, uzun vadede rekabet avantajlarını kaybetme riskiyle karşı karşıya kalabilir. Otonom teknolojilere yapılan yatırımların, lojistik ağlarının esnekliğini artırarak küresel tedarik zincirinde büyük bir rekabet avantajı sağlayacağı öngörülmektedir (Carolin & Spinler, 2019).

4.3 Tam Otomatik Depo ve Karanlık Depo Modelleri

Otonom lojistik sistemlerinin gelişimi, tam otomatik depo sistemleri ve karanlık depo modellerine olan ilgiyi artırmaktadır. Bu tür depolar, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan tamamen otonom sistemler tarafından yönetilerek operasyonel verimliliği artırmaktadır.

Amazon'un Kiva robotları ile gerçekleştirdiği otomasyon uygulamalarında, depo operasyonlarında verimliliğin %25 arttığı ve depo kapasitesinin

%50 daha verimli kullanıldığı belirtilmektedir (Sunol, 2015). Gelecekte, yapay zekâ destekli envanter yönetimi ve robotik lojistik çözümlerinin yaygınlaşmasıyla, depo süreçlerinin daha akıllı ve ölçeklenebilir hale gelmesi beklenmektedir (Cheng, 2023; Schuldt, 2011).

4.4 Otonom Deniz Taşımacılığı ve Alternatif Lojistik Modelleri

Otonom deniz taşımacılığı, lojistik sektöründe yeni fırsatlar sunabilecek önemli bir alan olarak öne çıkmaktadır. Uzaktan kumandalı veya tamamen otonom gemiler, deniz taşımacılığında maliyetleri düşürerek operasyonel verimliliği artırabilir.

Bu sistemler, lojistik zincirlerini optimize ederek yakıt tüketimini azaltmakta ve karbon emisyonlarını düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. CBS ve akıllı yönlendirme tekniklerinin entegrasyonu, lojistik operasyonlarının esnekliğini ve verimliliğini artırarak sürdürülebilir e-ticaret lojistiği için yeni olanaklar yaratmaktadır (Andrei vd., 2024).

4.5 Otonom Lojistikte Mevcut ve Gelecekteki Zorluklar

Otonom teknolojilerin lojistiğe entegrasyonu, operasyonel verimliliği artırarak maliyetleri düşürmekte ve kentsel lojistik süreçlerinde dönüşüm yaratmaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin yaygınlaşması, aşılması gereken çeşitli teknolojik, ekonomik, hukuki ve toplumsal zorlukları da beraberinde getirmektedir. Kentsel ve çevresel faktörler, otonom lojistik uygulamalarının sürdürülebilir şekilde entegre edilmesini zorlaştıran temel unsurlar arasında yer almaktadır. Otonom teslimat robotları ve insansız hava araçları (İHA'lar), trafik sıkışıklığını azaltma ve teslimat sürelerini kısaltma açısından önemli avantajlar sunsa da, bu sistemlerin enerji tüketimi, kent içi trafik yönetimi ve güvenlik gibi kritik parametreler göz önünde bulundurularak optimize edilmesi gerekmektedir (Engesser vd., 2023). Bunun yanı sıra, küresel standartlaşma sürecinin yavaş ilerlemesi, farklı ülkelerdeki düzenleyici çerçevelerin otonom sistemlere uyum sağlamasını geciktirmektedir. Ayrıca, veri güvenliği ve siber tehditler, bu sistemlerin yaygınlaşması önündeki en önemli engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Otonom lojistik çözümlerinin sağladığı verimlilik artışına rağmen, iş gücü dönüşümü kritik bir konu olarak önemini korumaktadır. Geleneksel lojistik iş modellerinin otomasyona uyum sağlaması, işsizlik riskini azaltmak ve insan kaynağını yeni nesil lojistik yetkinliklerine adapte etmek için eğitim ve yeniden beceri kazandırma programlarıyla desteklenmelidir.

5. Otonom Lojistikte Stratejik Çözümler ve Geleceğe Yönelik Öneriler

Otonom lojistik sistemleri, verimlilik ve maliyet avantajları sağlarken, aynı zamanda çok boyutlu dönüşümleri beraberinde getirmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, yalnızca teknolojik gelişmeler değil, aynı zamanda düzenleyici çerçevelerin oluşturulması, iş gücü dinamiklerinin yeniden şekillendirilmesi ve altyapı yatırımlarının artırılması gibi kritik unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Mevcut engellerin aşılabilmesi için hem özel sektörün hem de kamu kurumlarının birlikte hareket etmesi gerekmektedir. Teknoloji sağlayıcıları, lojistik hizmet sunucuları ve politika yapıcılar arasında iş birliğinin güçlendirilmesi, otonom lojistiğin yaygınlaşmasını hızlandırabilir. Özellikle, akıllı altyapı yatırımları ve uyumlu yasal düzenlemeler, sektör genelinde entegrasyonu kolaylaştıracaktır. Ayrıca, Ar-Ge yatırımlarının artırılması, yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerinin daha güvenilir hale gelmesini ve otonom lojistiğin etkinliğinin artırılmasını sağlayacaktır. Otonom lojistik sistemlerinin gelecekte sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilmesi için, regülasyonların hızlandırılması, enerji verimliliğini artıran çözümlerin teşvik edilmesi ve toplumsal kabulün sağlanması gerekmektedir. Bu dönüşüm sürecinin başarılı bir şekilde yönetilebilmesi, lojistik sektöründe yeni fırsatların ortaya çıkmasına ve küresel tedarik zincirlerinde daha sürdürülebilir iş modellerinin benimsenmesine katkıda bulunacaktır. Sonuç bölümünde, otonom lojistiğin sektörde yaratacağı uzun vadeli etkiler değerlendirilerek, gelecekteki yönelimler tartışılacaktır.

6. Sonuç

Otonom lojistik, küresel tedarik zincirlerinde ve taşımacılık sektöründe köklü bir dönüşümün habercisidir. Yapay zekâ, büyük veri analitiği ve robotik teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde, lojistik süreçler daha verimli, esnek ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır. Sürücüsüz kamyonlar, insansız hava araçları ve akıllı depo sistemleri, insan kaynaklı hataları azaltarak operasyonel etkinliği artırmakta, teslimat sürelerini kısaltmakta ve lojistik maliyetlerini düşürmektedir. Bununla birlikte, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliği gibi çevresel kazanımlar, otonom lojistik teknolojilerinin sürdürülebilir taşımacılık çözümlerine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak, bu teknolojilerin geniş çapta benimsenmesi yalnızca teknik ilerlemelere bağlı değildir; düzenleyici çerçevelerin oluşturulması, altyapı yatırımları, güvenlik risklerinin yönetilmesi ve toplumsal kabul gibi çok boyutlu faktörler dikkate alınmalıdır. Mevcut düzenleyici farklılıklar, ülkeler arasındaki uyumsuzluklar ve belirsiz yasal çerçeveler, otonom lojistik sistemlerinin küresel ölçekte benimsenmesini yavaşlatmaktadır.

Aynı zamanda, siber güvenlik tehditleri ve yapay zekâ destekli karar alma mekanizmalarına ilişkin etik kaygılar, bu teknolojilerin güvenilirliğini sağlamaya yönelik yeni düzenlemelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

İlgili sistemlerin dinamikleri üzerindeki etkileri de dikkate alınması gereken kritik unsurlar arasındadır. Geleneksel taşımacılık sektöründe istihdam edilen insan kaynağı, bu dönüşüm sürecinden doğrudan etkilenmekte ve yeni becerilere yönelik eğitim programlarının oluşturulması kaçınılmaz hale gelmektedir. Dolayısıyla, iş gücü dönüşümünü yönetmek ve insan kaynaklarını bu yeni teknolojiye uyumlu hale getirmek için kamu ve özel sektör iş birliğine dayalı stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelecekte, lojistik sektöründeki tüm paydaşların otonom sistemlere entegrasyon süreçlerini hızlandırması ve teknolojiye uyum sağlaması büyük önem taşımaktadır. Otonom lojistik sistemlerinin yaygınlaşması, yalnızca taşımacılık sektörünü değil, küresel tedarik zincirlerini, şehir planlamasını ve ticaret modellerini de yeniden şekillendirecektir. Bu dönüşüm sürecinin başarılı olması için, öncelikle düzenleyici ve hukuki çerçevelerin oluşturulması gerekmektedir. Otonom lojistik sistemlerinin küresel ölçekte uygulanabilirliğini artırmak için uluslararası standartlar ve yasal düzenlemelerin uyumlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, altyapı yatırımlarının artırılması, akıllı karayolları, bağlantılı araç teknolojileri ve yüksek hızlı veri iletişim ağları gibi gereksinimlerin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Otonom sistemlerin etkin bir şekilde çalışabilmesi için siber güvenlik önlemlerinin güçlendirilmesi de büyük bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde veri güvenliğini sağlamak ve siber saldırılara karşı dirençli altyapılar geliştirmek amacıyla yapay zekâ tabanlı güvenlik çözümlerinin entegrasyonu sağlanmalıdır.

Otonom lojistik teknolojilerinin iş gücü üzerindeki etkilerini dengelemek adına, sektör genelinde iş gücü dönüşümüne yönelik stratejiler geliştirilmelidir. Otonom lojistik sistemlerinin benimsenmesiyle birlikte iş gücünde meydana gelebilecek dönüşümlere karşı eğitim programları oluşturulmalı ve istihdamın sürdürülebilirliği sağlanmalıdır. Aynı zamanda, Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi de kritik bir öneme sahiptir. Otonom lojistiğin inovasyon kapasitesini artırmak ve teknolojinin daha geniş ölçekli bir kullanım alanı bulmasını sağlamak amacıyla akademik ve endüstriyel iş birliklerine dayalı Ar-Ge yatırımları teşvik edilmelidir.

Sonuç olarak, otonom lojistik sistemleri, lojistik operasyonlarını daha verimli, sürdürülebilir ve esnek hale getirme potansiyeline sahip olmakla birlikte, bu dönüşüm süreci çok boyutlu bir yaklaşım gerektirmektedir. Teknolojik gelişmelerin hızlanması, düzenleyici çerçevelerin netleşmesi ve

paydaşlar arasındaki iş birliklerinin artması ile birlikte, otonom lojistiğin gelecekte kşresel lojistik ekosisteminin ayrılmaz bir parçası haline gelmesi kaçınılmazdır. Ancak, bu dķnüşřm sşrecinde veri gşvenliği, altyapı yatırımları ve sosyal kabul gibi unsurlar dikkatle ele alınmalıdır. Otonom lojistik sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, yalnızca lojistik sektķri için değil, kşresel ekonomi ve sşrdşrşlebilir kalkınma hedefleri açısından da önemli bir dķnřm noktası olacaktır.

Referanslar

- Abosuliman, S. S., & Almagrabi, A. O. (2021). Routing and scheduling of intelligent autonomous vehicles in industrial logistics systems. *Soft Comput*, 25. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05633-4>
- Andrei, N., Scarlat, C., & Ioanid, A. (2024). Transforming E-Commerce Logistics: Sustainable Practices through Autonomous Maritime and Last-Mile Transportation Solutions. *Logistics*, 8(3), 71. <https://doi.org/10.3390/logistics8030071>
- Balaska, V., Tsiakas, K., Giakoumis, D., Kostavelis, I., Folinas, D., Gasteratos, A., & Tzovaras, D. (2022). A Viewpoint on the Challenges and Solutions for Driverless Last-Mile Delivery. *Machines*, 10(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/machines10111059>
- Carolin, F., & Spinler, S. (2019). The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 148.
- Cheng, D. (2023). Improving Supply Chain and Logistics Through Automation. *Journal of Enterprise and Business Intelligence*. <https://doi.org/10.53759/5181/jebci202303011>.
- Das, D. N., Sewani, R., Wang, J., & Tiwari, M. K. (2021). Synchronized Truck and Drone Routing in Package Delivery Logistics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5772–5782. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2992549>
- Engesser, V., Rombaut, E., Vanhaverbeke, L., & Lebeau, P. (2023). Autonomous Delivery Solutions for Last-Mile Logistics Operations: A Literature Review and Research Agenda. *Sustainability*, 15(3), 2774. <https://doi.org/10.3390/su15032774>
- He, Y., & Csiszár, C. (2021). Model for crowdsourced parcel delivery embedded into mobility as a service based on autonomous electric vehicles. *Energies*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/en14113042>
- Hoffmann, T., & Prause, G. (2023). On the Legal and Economic Implications of Tele-Driving. *Machines*, 11(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/machines11030331>
- Ibiyemi, M. O., & Olutimehin, D. O. (2024). Revolutionizing logistics: The impact of autonomous vehicles on supply chain efficiency. *International Journal of Scientific Research Updates*, 8(1), 009–026. <https://doi.org/10.53430/ijrsru.2024.8.1.0042>
- Kitjacharoenchai, P., Min, B.-C., & Lee, S. (2020). Two echelon vehicle routing problem with drones in last mile delivery. *International Journal of Production Economics*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107598>
- Lee, S., Cho, K., Park, H., & Cho, D. (2023). Cost-Effectiveness of Introducing Autonomous Trucks: From the Perspective of the Total Cost of

- Operation in Logistics. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/app131810467>
- McKinsey Company. (2024). *Will autonomy usher in the future of truck freight transportation?* <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/will-autonomy-usher-in-the-future-of-truck-freight-transportation>
- Mokonyama, M., Malatji, M., & Nhlanhla, M. (2022). Addressing operational challenges of small and medium enterprises of the logistics industry—Potential for autonomous vehicles. *2022 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, 1–6.
- Moshref-Javaldi, M., Hemmati, A., & Winkenbach, M. (2021). A comparative analysis of synchronized truck-and-drone delivery models. *Computers & Industrial Engineering*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107648>.
- Nurgaliev, I., Eskander, Y., & Lis, K. (2023). *The Use of Drones and Autonomous Vehicles in Logistics and Delivery*. <https://doi.org/10.26411/83-1734-2015-2-55-6-23>
- PwC. (2018). *Industrial mobility: How autonomous vehicles can change manufacturing*. [https://www.pwc.com/us/en/industries/industrial-products/library/industrial-mobility.html#:~:text=%2A Just 9,32](https://www.pwc.com/us/en/industries/industrial-products/library/industrial-mobility.html#:~:text=%2A%20Just%209,32)
- Reed, S., Campbell, A. M., & Thomas, B. W. (2021). The Value of Autonomous Vehicles for Last-Mile Deliveries in Urban Environments. *Management Science*, 68(1), 280–299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3917>
- Schuldt, A. (2011). Potential for Cooperation in Autonomous Logistics. *Multiagent Coordination Enabling Autonomous Logistics*, 105–128. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20092-2_5.
- Shafiee, A., Moghaddam, H. R., & Lin, J. (2024). Using Autonomous Modular Vehicle Technology as an Alternative for Last-Mile Delivery. *IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation System (FISTS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FISTS60717.2024.10485532>
- Stradner, S., & Brunner, U. (2019). Digitalized and Autonomous Transport – Challenges and Chances. *Digital Transformation in Maritime and City Logistics: Smart Solutions for Logistics*.
- Sun, X., & Zeng, Q. (2024). Research on Robot Operating System (ROS) Integration in Automated Logistics. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2388>.
- Sunol, H. (2015). *Advances in Robotics Reshaping the Modern Warehouse*. CYZERG. [https://cyzerg.com/blog/advances-in-robotics-reshaping-the-modern-warehouse/#:~:text=Amazon also adopted the same,that have adopted the process](https://cyzerg.com/blog/advances-in-robotics-reshaping-the-modern-warehouse/#:~:text=Amazon%20also%20adopted%20the%20same,that%20have%20adopted%20the%20process)

