

RESEARCH ARTICLE/ARAŞTIRMA MAKALESİ

Lojistik Sektöründe Yapay Zeka: Verimlilik, Otomasyon ve Günümüz Trendleri

Artificial Intelligence in The Logistics Sector: Efficiency, Automation and Current Trends

Can Burak NALBANTOĞLU*

ÖZ

Bu çalışma, yapay zekanın (YZ) lojistik sektöründeki etkilerini çok boyutlu bir şekilde incelemektedir. Rota optimizasyonu, otomatikleştirilmiş depo yönetimi, talep tahmini ve kaynak planlaması gibi uygulamalar üzerinden YZ'nin operasyonel verimlilik, maliyet avantajı ve sürdürülebilirlik açısından sağladığı katkılar ortaya konulmuştur. Ayrıca Huawei tarafından geliştirilen çeşitli ulusal ve uluslararası uygulama örnekleri üzerinden YZ'nin karayolu, demiryolu, havayolu ve şehir içi ulaşım sistemlerine entegrasyonu analiz edilmiştir. Çalışma, YZ teknolojilerinin lojistikte dijitalleşmeyi desteklediğini ve stratejik karar alma süreçlerinde önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte veri güvenliği, teknik altyapı yetersizlikleri ve yetkin insan kaynağı eksikliği gibi bazı zorluklar, bu teknolojilerin etkin kullanımını sınırlamaktadır. Sonuç olarak, yapay zekanın lojistik sektöründeki potansiyelini tam anlamıyla gerçekleştirmesi için kapsamlı ve bütünleşik bir stratejik yaklaşım gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, Lojistik, Otomasyon, Verimlilik, Büyük veri

JEL Kodu: R40, R41, R49

*Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi Lojistik Bölümü, İstanbul-Türkiye

ORCID: 0000-0002-0903-4085

Corresponding author/Sorumlu yazar:

Can Burak NALBANTOĞLU

E-mail / E-posta:

cbnaltantoglu@gelisim.edu.tr



DOI: 10.62844/jerf.23

Submitted / Başvuru

:08.05.2025

Accepted / Kabul

:22.09.2025

ABSTRACT

This study examines the multifaceted impact of artificial intelligence (AI) in the logistics sector. It highlights how AI-driven solutions such as route optimization, automated warehouse management, demand forecasting, and resource planning contribute to enhanced operational efficiency, cost savings, and sustainability. The paper also analyzes real-world applications developed by Huawei in road, rail, air, and urban transportation systems across various countries. The findings demonstrate that AI supports digitalization in logistics and offers strategic benefits for decision-making processes. However, challenges such as data security, insufficient infrastructure, and lack of skilled professionals may hinder effective implementation. Ultimately, realizing the full potential of AI in logistics requires a comprehensive and integrated strategic approach.

Keywords: Artificial intelligence, Logistics, Automation, Efficiency, Big data

JEL Codes: R40, R41, R49

Giriş

Yapay Zekanın (YZ) lojistik sektörüne entegrasyonu, bilgisayar bilimi ve makine öğrenimindeki ilk gelişmelere kadar uzanmaktadır. Başlangıçta, YZ sistemleri öncelikle tekrarlayan görevleri otomatikleştirmeye odaklanmıştır ancak onlarca yıl içinde önemli ölçüde gelişme göstermiştir. 20. yüzyılın sonlarında algoritmalar ve veri yapılarındaki gelişmeler, YZ'nin lojistik de dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde uygulanmasına zemin hazırlamıştır (Hangl vd., 2022). 21. yüzyıl, verimliliği ve karar alma süreçlerini geliştiren yapay zeka teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte lojistik sektöründe önemli bir dönüşüme sahne olmuştur. Büyük veri ve Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) ortaya çıkışı, lojistik şirketlerini talebi tahmin etmek ve tedarik zinciri süreçlerini optimize etmek için yapay zeka odaklı tahmine dayalı analitik uygulamaya sevk etmiştir. Bu değişim, işletmelerin artan pazar karmaşıklığına ve müşteri beklentilerine uyum sağlama zorunluluğundan kaynaklanmıştır (DHL, 2023).

Lojistik operasyonlarında sürdürülebilirlik, firmaların maliyetleri düşürmek, verimsizlikleri ortadan kaldırmak ve karbon ayak izlerini en aza indirmek için sürdürülebilir uygulamaları hayata geçirme ihtiyacını fark etmesiyle önem kazanmıştır (Dey vd., 2011). İnsani operasyonlar bağlamında lojistik, afet yardım çabalarında kritik bir rol oynar ve uygulayıcılar ve araştırmacılar için benzersiz zorluklar sunabilir (Blecken, 2010).

Lojistik sektörünün büyümesi, yapay zeka teknolojisinin ilerlemesi ve e-ticaret ve yeni perakende gibi yeni sektörlerin ortaya çıkmasıyla son yıllarda katlanarak artmıştır. Bu büyüme, sektördeki şirket ve iş biçimlerinin çeşitlenmesine yol açmıştır. Son yıllarda, gelişmiş akıllı teknolojinin lojistik alanına kayda değer bir entegrasyonu olmuştur. Buna akıllı kurye kabinleri, insansız araç teslimatı ve otomatik ayıklama makineleri gibi akıllı ekipmanların uygulanması da dahildir (Wang vd., 2022).

Lojistikte yapay zekanın piyasa değerinin 1,3 milyar ABD dolarına yükseldiği 2020 yılı civarında kayda değer bir dönüm noktası yaşanmış ve böylece bu sektörde yapay zeka teknolojilerinin hızla benimsendiği görülmüştür. Lojistik şirketlerinin yaklaşık %38'i, %50'ye varan operasyonel maliyet düşüşleriyle sonuçlanan aktif yapay zeka entegrasyonunun uygulandığını bildirmiştir (Jebbor vd., 2024).

Bu çalışmada lojistik sektöründe yapay zeka konusunda kullanılan temel uygulamaların neler olduğu, bu uygulamaların faydalı yönleri ve daha sonra zorluklar ve sınırlılıklar ele alınmaktadır. Ayrıca çalışmanın ilerleyen bölümlerinde HUAWEI (2024) tarafından hazırlanan raporda ele alınan güncel olarak lojistik sektörünün farklı alanlarında kullanılan yurtiçi ve yurtdışı uygulamalardan örneklerle yer verilmektedir.

Lojistikte Yapay Zekanın Temel Uygulamaları

Yapay zekanın (AI) ortaya çıkışı, verimliliği artırma, operasyonları kolaylaştırma ve müşteri deneyimlerini iyileştirme potansiyeline sahip çok sayıda uygulama ile lojistik sektöründe bir dönüşüme yol açmıştır. Bu uygulamalar, rota optimizasyonundan öngörücü bakıma kadar bir dizi işlevi kapsamakta ve toplu olarak daha çevik ve duyarlı bir lojistik ortamının yaratılmasına katkıda bulunmaktadır.

Rota Optimizasyonu ve Planlama

Yapay zeka teknolojisinin uygulanması, büyük miktarlardaki sipariş verilerinin, trafik bilgilerinin ve dağıtım ağlarının analiz edilmesini ve modellenmesini sağlayarak teslimat rotalarının optimizasyonunu ve optimum teslimat planlarının planlanmasını kolaylaştırır (Li, 2022). Gerçek zamanlı verilere dayanan akıllı çizelgeleme sistemi, en kısa yolu ve optimum dağıtım sırasını elde etmek için bir dizi faktörü göz önünde bulundurabilir. Bu faktörler arasında trafik sıkışıklığı, dağıtım hacmi ve dağıtım zaman aralığı yer alabilir (Zhu, 2024, s. 66).

Otomatikleştirilmiş Depo Yönetimi

Depo yönetiminde yapay zekanın uygulanması, depo operasyonlarının otomasyonunu geliştirme potansiyeline sahiptir. Örneğin, makine öğrenimi ve bilgisayarla görme teknolojisinin entegrasyonu, malları daha yüksek hassasiyet ve verimlilikle tanımlayabilen ve sınıflandırabilen otomatik sistemlerin geliştirilmesini kolaylaştırabilir. Ayrıca, robot operatörlerin kullanılmaya başlanması malların toplanması, yüklenmesi ve tasnif edilmesi sürecini kolaylaştırarak işçilik maliyetlerini azaltabilir ve operasyonel verimliliği artırabilir (Hompel ve Schmidt, 2006). Yetersiz tasarlanmış bir depolama sistemi, ürünlerin üreticiden müşteriye aktarılması sırasında envanterin aşırı yüklenmesine ve üretim siparişlerinin durmasına neden olabilir. Bu nedenle, depodan verimli bir envanter akışının sürdürülmesi büyük önem taşır ve depo sisteminin etkin yönetimi, bir tedarik zincirinin başarılı bir şekilde işletilmesi için ön koşuldur (Kumar vd., 2011, s. 6407).

Talep Tahmini Ve Envanter Yönetimi

Yapay zeka (AI), geçmiş verileri ve pazar eğilimlerini analiz ederek talebi tahmin etme ve envanteri daha etkili bir şekilde yönetme potansiyeline sahiptir. Makine öğrenimi algoritmalarının uygulanması, gelecekteki talep ve eğilimlerin tahmin edilmesini sağlayarak daha etkili tedarik planlarının ve envanter yönetimi stratejilerinin formüle edilmesini kolaylaştırır. Bu da aşırı stoklama ve stok sıkıntısı vakalarını azaltmaktadır (Zhu, 2024, s. 67).

Yapay zeka (AI), tedarik zinciri yönetiminin etkinliğini çeşitli şekillerde önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Yapay zeka (AI), gelecekteki talebi tahmin etmek ve envanter seviyelerini optimize etmek amacıyla sensör verileri, meteorolojik tahminler ve sosyal medya dahil olmak üzere çok sayıda kaynaktan gelen bol miktarda veriyi analiz etmek için kullanılabilir (Mohsen, 2023).

Lojistikte Gözetim ve Planlama

Etkili kaynak planlama yönetimi, insan kaynakları, alanlar, araçlar ve diğer kaynakların stratejik tahsisini yaparak kaynak kullanımını optimize etmeyi amaçlar. Bu süreç, araçların gerçek zamanlı koordinasyonu ve programlanmasını, aynı zamanda anlık geri bildirimler ve ayarlamaların yapılmasını gerektirdiği için karmaşık hale gelir. İş süreçleri beş ana aşamada gerçekleşir: randevu, tahsis, bekleme, geçiş ve platform operasyon geri bildirimi. Araçlar, giriş yapmadan önce randevu alır ve otomatik tanıma sistemi ile gerçek zamanlı veri toplanarak, personel durumu video geri bildirimi ile ayarlanır. Çıkış ve giriş araçları için gerekli ekipmanlar (forklift, barkod okuyucu, sıralama makineleri) hazırlanır. Giriş ve çıkış kapılarındaki araç yoğunluğu hesaplanır ve belirli bir eşiğin aşılması durumunda girişler durdurulur. Araçlar, otomatik odometre alanında akıllı tartım işlemi yaparak, belirlenen platformda durur ve yükleme/boşaltma işlemlerini gerçekleştirir. Platformun gerçek zamanlı video geri bildirimi sayesinde araç, yük ve operasyon bilgileri izlenir ve bu, alan dönüşüm hızını artırır (Alkinani vd., 2022).

Yapay zeka uygulaması, ilgili bilgilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla lojistik taşımacılık planlamasının ve rota seçiminin optimizasyonunu kolaylaştırabilir. Bu, trafik koşulları, meteorolojik koşullar ve sipariş değişikliklerine ilişkin verileri içerebilir. Akıllı sistemlerin kullanımı, trafik sıkışıklığı, ani hava değişiklikleri ve diğer öngörülemeyen faktörler gibi değişen koşullara yanıt olarak ulaşım planlarının gerçek zamanlı olarak ayarlanmasını sağlar. Bu da malların ve kaynakların verimli ve güvenilir bir şekilde hareket etmesini sağlayarak malların zamanında teslim edilmesine olanak tanır. Özetle, akıllı dağıtım alanında yapay zekanın uygulanması dağıtım verimliliğini artırabilir, maliyetleri en aza indirebilir ve lojistik hizmetlerin kalitesini optimize edebilir. Otomasyon, tahmin ve optimizasyon dahil olmak üzere teknik araçların uygulanması, akıllı dağıtım sistemlerinin pazar ihtiyaçlarına ve değişikliklerine daha etkili bir şekilde uyum sağlamasına olanak tanır. Bu da kullanıcıların daha verimli, doğru ve uygun bir dağıtım deneyiminden faydalanmasını sağlar (Zhu, 2024, s. 67).

Lojistik Sektöründe Yapay Zeka Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

Yapay zeka (AI) lojistik alanında sayısız fayda sağlamaktadır. Lojistik alanında yapay zekanın uygulanması, büyük ölçekli veri setlerinin analizi ve madenciliği yoluyla daha doğru tahminlerin üretilmesini ve gelişmiş karardesteğinin sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Lojistik operasyonlarını optimize etmek ve hizmet kalitesini artırmak amacıyla sipariş bilgileri, nakliye yörüngeleri, müşteri talebi ve diğer ilgili veriler dahil olmak üzere kapsamlı lojistik verilerinin işlenmesini kolaylaştırır. Ayrıca, yapay zeka teknolojisi potansiyel riskleri ve anormallikleri belirleme ve bunlara yanıt verme yeteneğine sahiptir, böylece lojistik operasyonlarının güvenliğini artırır. Yapay zeka uygulaması, lojistik işletmelerinin daha hassas talep tahmini, doğru planlama ve optimize edilmiş kaynak kullanımı elde etmelerine yardımcı olabilir. Lojistik ağlarının görselleştirilmesini ve yönetimini geliştirebilir, nakliye verimliliğini artırabilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir (Zhu, 2024).

Baryannis vd. (2019) tarafından yapılan bir araştırma, yapay zeka destekli risk yönetim sistemlerinin uygulanmasının, şirketlerin yaşadığı tedarik zinciri aksaklıklarının etkisinde %15'lik bir azalmaya yol açtığını ortaya koymuştur. Bu tür sistemler erken uyarı sinyalleri sağlayarak şirketlerin daha bilinçli ve zamanında kararlar almasına olanak tanır. Ivanov ve Dolgui'nin (2020) bulguları, yapay zeka destekli gerçek zamanlı takip sistemlerinin uygulanmasının tedarik zinciri gecikmelerini %12 ila %18 arasında değişen önemli bir marjla azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu gelişmiş görünürlük, müşterilerin sevkiyat durumlarından sürekli olarak daha yüksek bir hassasiyetle haberdar edilmeleri sayesinde müşteri güvenini de artırmaktadır.

Maliyet ve verimlilik kazanımlarına ek olarak, yapay zeka lojistik operasyonlarında sürdürülebilirliğe de katkıda bulunur. YZ, enerji tüketimini optimize ederek ve karbon emisyonlarını azaltarak işletmelerin çevresel etkilerini azaltmalarına yardımcı olabilir. Çalışmalar, yapay zeka destekli modellerin enerji verimliliğini %10-40 oranında artırabildiğini ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmedeki rolünün altını çizdiğini göstermiştir (Chottani vd., 2018).

Lojistikte YZ'nin temel avantajlarından biri operasyonel verimliliğin artırılmasıdır. Makine öğrenimi ve veri analitiği gibi YZ teknolojileri, rota planlama, envanter yönetimi ve talep tahmini dahil olmak üzere çeşitli lojistik süreçlerinin optimizasyonunu kolaylaştırır. Örneğin, YZ algoritmaları talep modellerini tahmin etmek için büyük miktarda veriyi analiz edebilir, böylece aşırı envanteri azaltır ve depolama maliyetlerini en aza indirebilir (Zhu vd., 2022; Pandey, 2023; Zhu, 2024). Ayrıca, Otonom Kılavuzlu Araçlar (AGV'ler) ve robotik sistemlerin kullanımı gibi YZ odaklı otomasyon, depolama operasyonlarını düzene sokarak daha hızlı işlem sürelerine ve azaltılmış işçilik maliyetlerine yol açar (Tsolakis vd., 2021; Pandian, 2019). Yapay zekanın uygulanması aynı zamanda sevkiyatların gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve takip edilmesini de mümkün kılıyor; bu da doğru teslimat tahminleri sağlayarak şeffaflığı ve müşteri memnuniyetini arttırabilir (Rosendorff

Bununla birlikte, lojistikte yapay zekanın benimsenmesinin de zorlukları da vardır. Önemli bir dezavantaj, otomasyon nedeniyle işlerin potansiyel olarak yerinden edilmesidir. Yapay zeka sistemleri tekrarlayan ve manuel görevleri devraldıkça, özellikle düşük beceri gerektiren pozisyonlar için lojistik iş gücünde iş kayıpları konusunda artan bir endişe vardır (Richey vd., 2023; Li vd., 2023). Ek olarak, yapay zeka teknolojilerine güven, hassas bilgiler genellikle dijital olarak işlenip saklandığından veri güvenliği ve gizliliğiyle ilgili sorunları gündeme getirir (Zhu, 2024).

Verilerin güvenliğini ve gizliliğini sağlamak, yapay zeka teknolojisinin kullanımında önemli bir zorluktur. Lojistik alanı, müşteri bilgileri, nakliye rotaları ve malların değeri dahil olmak üzere önemli miktarda hassas veriyi kapsamaktadır. Kullanılabilecek her türlü verinin güvenliğini ve gizliliğini sağlamak son derece önemlidir. Aynı zamanda, sınır ötesi taşımacılık yapan lojistik işletmeleri için, farklı ülke ve bölgelerin veri düzenlemelerine uyulması da zorunludur. Pratik uygulamalarda, lojistik şirketleri bazı teknik uygulama ve yönetim sorunlarını ele almalıdır. Uygun yapay zeka teknolojisini ve algoritmasını seçmek, belirli lojistik problemlerini çözmek için çok önemlidir (Zhu, 2024).

Yapay zekanın uygulanması, veri bilimi ve bilgi teknolojilerinde uzmanlığa sahip yetenekli profesyonellerin mevcudiyetine bağlıdır. Küresel lojistik sektöründe bu tür profesyonellerin azlığı, yapay zekanın benimsenmesini ve uygulanmasını engellemekte ve bu becerilerin ve uzmanlığın hayati gerekliliğinin altını çizmektedir (Jindal vd., 2021).

Bir teknoloji tedarikçisi seçildikten sonra, uygulama süreci titiz bir orkestrasyon gerektirir. Mevcut sistemlerle entegrasyon genellikle sistem entegratörleriyle işbirliğini gerektirir, bu da kesinti sürelerine neden olabilir ve kapsamlı çalışan eğitimi gerektirir. Etkin bir şekilde yönetilmediği takdirde bu geçiş, operasyonel süreçleri sektöre uğratma ve yapay zekanın beklenen faydalarını engelleme potansiyeline sahiptir (Tsidulko, 2024).

Lojistik Sektöründe Yapay Zeka Kullanımı ve Günümüz Trendleri

Lojistik sektörü, teknolojideki hızlı ilerlemelerin etkisiyle dönüştürücü bir değişim geçiriyor. Bu yenilikler arasında yapay zeka (AI), geleneksel lojistik operasyonlarında bir dönüşümü etkileyen önemli bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Yapay zekanın büyük miktarda veriyi işleme, kalıpları belirleme ve gerçek zamanlı kararlar alma kapasitesi, onu lojistikte verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri hizmetlerini iyileştirmek için çok önemli bir araç olarak konumlandırmıştır. Rota optimizasyonu ve talep tahmininden depo otomasyonu ve önleyici bakıma kadar, süreçleri kolaylaştırmak, kaynakları optimize etmek ve küresel tedarik zincirlerinin karşılaştığı karmaşık zorlukların üstesinden gelmek için yapay zeka kullanılmaktadır.

Lojistik sektöründe yapay zekânın benimsenmesine yönelik mevcut eğilimler, veriye dayalı karar alma ve otomasyona giderek daha fazla önem verildiğini göstermektedir. Otonom araçlar, insansız hava araçları ve robotik sistemler de dahil olmak üzere yapay zeka odaklı teknolojilerin dahil edilmesi, son kilometre teslimat ve depolama operasyonlarını dönüştürmektedir. Ayrıca, yapay zeka odaklı tahmine dayalı analitik, lojistik şirketlerinin pazar değişimlerini öngörmesine, riskleri azaltmasına ve dalgalanan talebe daha etkili bir şekilde uyum sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu eğilimler yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmamakta, aynı zamanda daha akıllı kaynak kullanımı yoluyla karbon emisyonlarını azaltarak sürdürülebilirliği de teşvik etmektedir. Lojistik sektörü gelişmeye devam ettikçe, küresel ticaretin artan karmaşıklığını karşılamak için ortaya çıkan yeni yenilikler ve uygulamalarla birlikte yapay zekanın rolü giderek daha belirgin hale gelecektir. Bu nedenle, hızla değişen bu ortamda rekabetçi kalmak isteyen işletmelerin mevcut eğilimleri ve yapay zekanın lojistikteki dönüştürücü potansiyelini anlamaları çok önemlidir.

Çalışmanın bu bölümünde Huawei Teknolojileri şirketi tarafından 2024 yılında hazırlanan ve lojistik sektörünün farklı alanlarında kullanılan yapay zeka uygulamalarını içeren rapor ele alınmaktadır. Dünyanın farklı ülkelerinden örneklerin yer aldığı bu bölümde her bir alandan güncel uygulama örnekleri sunulmaktadır.

Karayolu Ulaşımında Yapay Zeka Kullanımı

Yapay Zeka (AI), verimliliği, güvenliği ve sürdürülebilirliği artırarak karayolu taşımacılığı sektörünü dönüştürmektedir. Yapay zeka, otonom sürüş teknolojilerine güç vererek insan hatalarını azaltmakta ve yol güvenliğini arttırmaktadır. Tesla gibi şirketler Autopilot gibi sistemlerle bu yeniliğe öncülük etmektedir (Keymakr, 2025; Prismetric, 2024). Yapay zeka, gerçek zamanlı trafik ve hava koşullarını analiz ederek teslimat rotalarını optimize eder, yakıt tüketimini azaltır ve lojistik verimliliği artırır (Waltorn, 2024). Yapay zeka destekli önleyici bakım, bakım ihtiyaçlarını tahmin ederek araç arızalarını azaltır ve filo operasyonlarının daha sorunsuz olmasını sağlar (Qbotica, 2024).

Yapay zeka odaklı güvenlik özelliklerinin dahil edilmesinin kazaları %20-30 oranında azalttığı ifade edilmektedir. Trafik akışını ve rotaları optimize etmek için yapay zeka kullanmanın emisyonları ve trafik sıkışıklığını azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca önleyici bakımın araç bakım giderlerini %10 ila %20 oranında azalttığı görülmüştür. Rotaları optimize ederek ve yakıt verimliliğini arttırarak, yapay zekanın araç sistemlerinde kullanılmasının emisyon oranlarını ciddi ölçüde azalttığı ifade edilmektedir (Keymakr, 2025; Prismetric, 2024).

Karayolu ulaşımı başlığı içerisinde sadece lojistik değil aynı zamanda şehir içi ulaşım da ele alınmaktadır. Bu konuda örneklerden biri Çin'de yer alan Taicang Kenti örneğidir. Çin'in Taicang kenti, kent planlamasında bütüncül bir yaklaşım benimseyerek akıllı ulaşım çözümlerine odaklanmıştır. Son beş yılda kişi başına düşen GSYH'de %6,2'lik bir artış ve enerji tüketiminde %18'lik bir

azalma sağlanmasına rağmen, kent yol güvenliği ve trafik yönetiminde zorluklarla karşılaşmaktadır. Elektrikli bisikletlerin yol açtığı kazalar ve video tabanlı tespit sistemlerinin eksikliği bu sorunların başlıcalarıdır. Bu problemleri çözmek amacıyla Taicang'da dijital ikiz sistemi devreye alınmış ve 40 önemli kavşakta Huawei'in Tüm-Optik Kavşak Çözümü uygulanmıştır. Yapay zeka tabanlı bu sistem, trafik akışını iyileştirip ekipman arızalarının giderilme süresini %52 oranında azaltırken trafik sıkışıklığını da %7 oranında düşürmüştür. Bu gelişmeler, kent sakinleri için daha konforlu bir seyahat deneyimi sunarken lojistik faaliyetlerinde de gecikmelerin önüne geçilmesine katkı sağlamıştır (HUAWEI, 2024, s. 126).

Diğer bir örnek ise Türkiye'de HUAWEI ile gerçekleştirilen akıllı otoyol çalışmasıdır. Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Aydın-Denizli arasında akıllı otoyol inşa etmek için Fernas firmasıyla iş birliği yapmıştır. Projenin amacı, yol güvenliğini artırmak ve trafik akışını iyileştirmenin yanı sıra Ege Bölgesi'ndeki sanayi ve tarım alanlarını İzmir ve Antalya'daki büyük limanlara daha iyi bağlamaktır. Huawei, Fernas'a telekomünikasyon altyapısının geliştirilmesinde destek vermek üzere seçilmiştir. Projede, olası sistem arızalarına rağmen operasyonel sürekliliği sağlayacak esnek ve yedekli bir ağ sistemi kurulmuş, bu ağ eSight NMS, CloudEngine Kampüs anahtarları ve Wi-Fi 6 erişim noktalarıyla desteklenmiştir. Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS) kapsamında sıcaklık sensörleri sürücülere gerçek zamanlı uyarılar sağlarken, RFID gişe sistemleri kesintisiz ödeme imkanı sunmaktadır. Bu yeniliklerin, bölgedeki güvenliği, verimliliği ve ekonomik fırsatları artırması beklenmektedir (HUAWEI, 2024, s. 129-130).

Yapay zekanın filo yönetimine uygulanması operasyonel etkinlikte devrim yaratma potansiyeline sahiptir. YZ destekli filo optimizasyonu ve gerçek zamanlı koordinasyon verimlilikte kayda değer artışlara ve buna bağlı olarak arıza sürelerinde azalmalar sağlayacaktır. Gelişmiş veri analizini içeren önleyici bakım, beklenmedik onarım olasılığını ve maliyetini de azaltacaktır. YZ, yol sensörleri ve trafik ışıkları gibi altyapılarla entegre edildiğinde gerçek zamanlı verilere dayalı dinamik değişikliklere olanak sağlayacaktır. Tahminlere göre 2030 yılına kadar yollarda yaklaşık 58 milyon aracın olacağı öngörülmekte ve bu durumun ulaşım sektörüne büyük bir etkisinin olacağı beklenmektedir (Qbotica, 2024; Prismetric, 2024).

Demiryolu Ulaşımında Yapay Zeka Kullanımı

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı, demiryolu sektörünün çalışma biçiminde bir paradigma değişikliğine yol açarak operasyonel süreçlerinde bir dönüşüm yaratmıştır. Son yıllarda, dijitalleşmedeki hızlı ilerlemeler sayesinde, önemli miktarda veri artık gerçek zamanlı olarak toplanabilmekte, analiz edilebilmekte ve yorumlanabilmektedir; bu da on yıl önce düşünülmemeyecek anlamlı içgörülerin keşfedilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, demiryolu şirketleri sundukları hizmet yelpazesini akıllı biletleme, demiryolu analitiği, dinamik rota planlaması ve öngörücü ve duruma dayalı bakımı kapsayacak şekilde genişletmiştir. Bu IoT uygulamaları, operatörlerin maliyet düşüşleri elde etmelerini, hizmet kalitesini ve verimliliği artırmalarını, fiziksel varlık kullanımını optimize etmelerini ve gelişmiş

müşteri deneyimi sağlamalarını mümkün kılmıştır (Dong vd., 2022).

Demiryollarının en iyi şekilde işlemlerini sağlamak için demiryolu işletmecilerinin ve altyapı yöneticilerinin çok sayıda faktörü göz önünde bulundurması zorunludur. Bunlar arasında yolcu ve yük gecikmelerinin en aza indirilmesi, ağ kapasitesinin optimize edilmesi ve altyapı güvenilirliğinin artırılması ve tüm bunların maliyet etkinliğinin sağlanması yer almaktadır. Ayrıca, toplumsal ve çevresel etkilerin de ele alınması zorunludur. Bu hedeflere ulaşılması, güvenilir bir altyapının kurulmasını gerektirmektedir. Bu hedefe ulaşılması, temel sorunları ele almak için yeni tasarımların dahil edilmesini ve altyapının yaşam döngüsü boyunca bakım prosedürlerinin entegrasyonunu kapsayan etkili bakım stratejilerinin uygulanmasını gerektirir. Bu stratejiler aynı zamanda değiştirme ve geri dönüşüm süreçlerinin birbirine bağlılığını da dikkate almalıdır. Bu yaklaşım kuralcı bakım olarak bilinir. Diğer bakım konseptlerinde olduğu gibi, kuralcı bakım, bakım karar verme sürecini bilgilendirmek için teşhis ve prognostik bilgilerin kullanılmasını içermektedir. Kapsamlı amacı, demiryolu altyapısının performansını akıllıca izlemek, tahmin etmek ve optimize etmektir. Kuralcı bakımın temel bir yönü, eğilimleri belirlemek için bileşen bilgilerinin analizini gerektirir ve yalnızca belirtilere tepki vermek yerine anormal davranışın altında yatan nedenleri araştırmaya odaklanmaktadır. Bununla birlikte, demiryolu altyapısında kuralcı bakımın başarılı bir şekilde uygulanması, yeni yapay zeka çözümlerinin geliştirilmesine bağlıdır (Phusakulkajorn vd., 2023).

Güney Afrika Yolcu Demiryolu Ajansı (PRASA), ülke genelindeki banliyö demiryolu hizmetlerini sağlamakta ve altyapısını korumak için her yıl ciddi yatırımlar yapmaktadır. Ancak karmaşık çevre koşulları, manuel denetim zorlukları, izinsiz girişleri önleyememe ve eski cihazlar gibi güvenlik sorunları operasyonları tehdit etmektedir. Bu sorunları çözmek amacıyla PRASA, Huawei ile iş birliği yaparak Akıllı Demiryolu Çevre Algılama Çözümünü uygulamaya koymuştur. Bu sistem, fiber optik ve yapay zeka destekli video teknolojileriyle gerçek zamanlı ve hassas izleme sağlar. Çözüm, yanlış alarm oranlarını düşürerek, izinsiz girişleri tespit eder ve hızlı müdahale imkânı sunar. Ayrıca, manuel denetim ihtiyacını azaltarak bakım maliyetlerini düşürür ve operasyonel verimliliği artırır. Böylece hem varlık güvenliği hem de demiryolu ağının işlevselliği önemli ölçüde iyileştirilmiştir (HUAWEI, 2024, s. 130-132).

Demiryolu taşımacılığında yapay zeka kullanımı konusunda diğer bir örnek ise Mozambik Limanları ve Demiryolları için geliştirilen çalışmadır. Mozambik, doğal kaynak zenginliği ve stratejik limanlarıyla bölgesel taşımacılıkta önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda Mozambik Limanları ve Demiryolları (CFM), demiryolu taşımacılığının verimliliğini artırmak ve iletişim altyapısını modernize etmek amacıyla Huawei ile iş birliği yapmıştır. Ülke, yetersiz iletişim altyapısı, güvenlik sorunları ve büyüyen madencilik sektörünün getirdiği yeni ihtiyaçlarla karşı karşıya kalmıştır. Bu sorunlara çözüm olarak, Huawei'nin Geleceğin Demiryolu Mobil İletişim Sistemi (FRMCS) temelli, MCX destekli, LTE uyumlu bir sevk iletişim platformu geliştirilmiştir. Sistem; ses, veri, multimedya sevkıyatı, acil durum çağrılarını gibi kritik işlevleri desteklemekte ve trenler ile merkez arasında

sürekli, görsel kontrollü iletişim sağlamaktadır. Yeni sistem sayesinde kablosuz iletişim istikrarlı ve verimli hale gelmiş, trenle ilgili güvenlik olayları azalmış, programlama verimliliği ve yük kapasitesi artmış ve gerçek zamanlı izleme ile yıllık sigorta maliyetleri düşmüştür. Bu gelişmeler, CFM'nin demiryolu taşımacılığındaki stratejik rolünü güçlendirmiştir yararlanmıştır (HUAWEI, 2024, s. 132-134).

Şehir İçi Raylı Sistemlerde Yapay Zeka Kullanımı

Yapay Zekanın (AI) kentsel raylı sistemlere entegrasyonu, uzun süredir devam eden zorluklarayenilikçi çözümler sunarak ulaşımın manzarasını dönüştürmektedir. Yapay zeka teknolojileri, trafik planlama, bakım, güvenlik ve yolcu yönetimi de dahil olmak üzere raylı sistemlerdeki çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Yapay zeka, makine öğrenimi, veri füzyonu ve dijital ikiz teknolojilerinden yararlanarak operasyonel verimliliği artırıyor, maliyetleri düşürüyor ve sistem güvenilirliğini geliştiriyor. Bu gelişmeler, sürdürülebilir ve verimli kentsel hareketlilik için artan talepleri karşılamada özel bir öneme sahiptir (Zhang ve Zhang, 2023).

Son çalışmalar, demiryolu trafik yönetimi, otonom sürüş ve kestirimci bakımın optimize edilmesinde yapay zekanın potansiyelini vurgulamıştır. Örneğin, YZ ile donatılmış robotik algılama üniteleri, altyapı anormalliklerini tespit etme ve önleyici bakım süreçlerini iyileştirme yeteneklerini göstermiştir (Mineva vd., 2021). Eş zamanlı olarak, sistematik incelemeler, demiryolu taşımacılığında YZ'nin son teknoloji uygulamalarını sentezlemiş, temel araştırma eğilimlerini ve boşlukları belirlemiştir. Bu umut verici gelişmelere rağmen, alan, siber güvenlik, belirsizlik altında karar verme ve entegre YZ uygulamaları gibi alanlarda daha fazla keşif için önemli fırsatlarla erken aşamalarında kalmaya devam etmektedir (Tang vd., 2022).

Şehir içi raylı sistemler konusunda örneklerden biri olan Shenyang Metro sistemi, 2010 yılında hizmete giren 1. Hat ile başlatılmış, zamanla beş hatta genişleyerek 165 kilometrelik ağ uzunluğuna ve 122 istasyona ulaşmıştır. Bu sistem, şehirdeki önemli ulaşım merkezlerini entegre ederek kentsel bağlantıyı güçlendirmiştir. Ancak, ilk aşamalarda Wi-Fi ve TETRA teknolojilerine dayanan iletişim sistemlerinde parazit, güvenilirlik eksikliği ve yüksek bakım maliyetleri gibi önemli sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunların ardından, 9 ve 10 numaralı hatlarda LTE-M teknolojisinin uygulanmasıyla, 4G TDD-LTE tabanlı sağlam bir kablosuz iletişim altyapısı oluşturulmuştur. Bu teknoloji, CBTC ve trunking hizmetlerini tek bir ağda birleştirerek operasyonel verimliliği artırmıştır. LTE-M sistemi, özel 1.8 GHz frekans bandı sayesinde paraziti azaltmış, multimedya tabanlı etkili iletişim imkânı sağlamış ve baz istasyonu kapsamı sayesinde yol kenarı ekipman ihtiyacını önemli ölçüde düşürmüştür (HUAWEI, 2024, s. 134-136).

Havayolu Taşımacılığında Yapay Zeka Kullanımı

Yapay Zekanın (AI) havayolu taşımacılığı sektörüne entegrasyonu, verimlilik, güvenlik ve müşteri deneyiminde benzeri görülmemiş gelişmeler sunan dönüştürücü bir değişimi ifade etmektedir. Yapay zeka teknolojileri, hava trafik yönetimi, uçuş operasyonları, öngörücü bakım, dinamik fiyatlandırma ve yolcu hizmetleri dahil

olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Makine öğrenimi algoritmalarının ve büyük veri analitiğinin kullanılması, havayollarının uçuş programlarını optimize etmesine, talebi tahmin etmesine, uçak performansını artırmasına ve yolculara kişiselleştirilmiş seyahat deneyimleri sunmasına olanak tanımaktadır (Sadou ve Njoya, 2023; Morales vd. 2024).

Araştırmalar, havacılıkta YZ uygulamalarının çok yönlülüğünü vurgulamıştır. Örneğin, uçak yörüngelerini daha doğru bir şekilde tahmin etmek, hava trafik kontrolünde insan-makine etkileşimlerini iyileştirmek ve otonom havacılık teknolojileri aracılığıyla kentsel hava hareketliliğini kolaylaştırmak için yapay zeka destekli sistemler kullanılmıştır (Morales vd. 2024). Ayrıca, dinamik fiyatlandırma ve gerçek zamanlı hizmet otomasyonu gibi yapay zeka odaklı yenilikler, operasyonel süreçleri müşteri merkezli hedeflerle uyumlu hale getirerek ticari havacılığı dönüştürmektedir (Pilon, 2023).

Havayolu taşımacılığı konusunda örneklerden biri olan China West Airport Group (CWAG), Çin'in kuzeybatısındaki Shaanxi, Ningxia ve Qinghai eyaletlerinde yer alan 18 havalimanının işletmesini üstlenerek bölgenin yolcu ve kargo taşımacılığının büyük kısmını yönetmektedir. Kuşak ve Yol Girişimi ile uyumlu şekilde küresel rekabet gücünü artırmayı amaçlayan CWAG, hava taşımacılığı hizmet kümeleri oluşturmaya odaklanmıştır (HUAWEI, 2024, s. 139). Ancak, artan operasyonel kapsam ve endüstriyel çeşitlilik, eski bilgi sistemleri ve ELV altyapılarının yetersiz kalmasına yol açarak organizasyonel verimlilikte aksamalara neden olmuştur.

Bubağlamda CWAG, Xi'an Xianyang Uluslararası Havalimanı'nın genişleme projesi kapsamında Huawei iş birliğiyle "4A" mimari modeline dayalı bütüncül bir dijital dönüşüm stratejisi benimsemiştir. Bu model, iş süreçlerinin standartlaştırılmasını, sistemlerin entegrasyonunu ve aktif-aktif bulut mimarisiyle kesintisiz hizmeti mümkün kılmıştır (HUAWEI, 2024, s. 140). Aynı zamanda, gelişmiş veri yönetim sistemi sayesinde 70'in üzerinde sistem arasında yüksek kaliteli veri akışı sağlanmış, 1.000'den fazla gösterge ve 20 algoritmik model aracılığıyla akıllı karar destek mekanizmaları geliştirilmiştir. Yer hizmetlerine yönelik dijital çözümler, kaynak tahsisini optimize ederek operasyonel kontrol süreçlerini daha esnek ve etkili hale getirmiştir (HUAWEI, 2024, s. 141).

Sonuç olarak, 60'tan fazla sistemin buluta taşınmasıyla güvenilirlik ve bakım kolaylığı sağlarken, yer hizmetlerindeki dijitalleşme sayesinde %20 daha fazla uçuş yönetimi ve %17 zaman tasarrufu elde edilmiştir. Ayrıca uçuş izin süreçlerinde iyileşme, zamanında kalkış oranlarında %5 artış ve klerans verimliliğinde %7'lik gelişme sağlanmıştır. Bu dönüşüm, CWAG'ın dijitalleşme yoluyla operasyonel verimlilik ve hizmet kalitesini artırarak Çin sivil havacılık sektöründe lider bir konuma yükselmesini sağlamıştır (HUAWEI, 2024, s. 141).

Sonuç

Yapay zeka teknolojileri, lojistik sektöründe yalnızca operasyonel iyileştirmeler sağlamakla kalmamış, aynı zamanda sektörün dijital dönüşümünü tetikleyen temel faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, YZ uygulamalarının lojistik süreçlerde rota optimizasyonu, otomatikleştirilmiş depo yönetimi, talep tahmini ve kaynak planlaması gibi birçok kritik alanda etkin biçimde kullanıldığını göstermektedir. Bu uygulamalar, yalnızca maliyetleri azaltmakla kalmayıp; esneklik, hız, doğruluk ve sürdürülebilirlik gibi performans kriterlerini de iyileştirmektedir.

Yapay zeka (YZ) teknolojileri, lojistik sektöründe son yıllarda büyük bir dönüşüme yol açmıştır. Başlangıçta tekrarlayan görevleri otomatikleştirme amacıyla kullanılan YZ, zamanla büyük veri ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi gelişmelerle daha karmaşık süreçlerin yönetiminde de etkili hale gelmiştir. YZ, lojistik şirketlerinin talebi tahmin etme, tedarik zinciri süreçlerini optimize etme ve maliyetleri düşürme gibi önemli avantajlar elde etmesini sağlamıştır. 2020 itibarıyla lojistik sektöründe YZ'nin piyasa değeri önemli ölçüde artmış ve şirketlerin yaklaşık %38'i, operasyonel maliyetlerde %50'ye varan düşüşler bildirmiştir. Bu durum, YZ'nin lojistikteki etkisinin hızla artarak daha yaygın hale geldiğini göstermektedir.

Özellikle büyük veri ve IoT ile desteklenen YZ sistemleri, lojistik şirketlerine operasyonel karar alma süreçlerinde stratejik avantajlar kazandırmaktadır. Bunun yanı sıra, Huawei gibi teknoloji firmalarının katkısıyla geliştirilen uygulamalar, gerçek zamanlı veri kullanımı, akıllı ulaşım sistemleri, LTE-M tabanlı iletişim altyapıları ve dijital ikiz sistemleri gibi inovasyonları sektöre kazandırarak lojistikte akıllı sistemlerin yerleşmesini sağlamıştır.

Ancak bu dönüşümün başarıyla sürdürülebilmesi için belirli zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Veri güvenliği, dijital altyapı eksiklikleri, iş gücünün yeniden yetkilendirilmesi ve yetkin profesyonel ihtiyacı, yapay zekanın lojistikte tam potansiyelini gerçekleştirmesinin önündeki başlıca engeller olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, uygulama süreçlerinin sektörel ihtiyaçlara uygun şekilde tasarlanması, entegrasyon süreçlerinin dikkatli yönetilmesi ve farklı ulaşım türlerine özgü teknolojik adaptasyonların sağlanması da bu dönüşümde belirleyici faktörlerdir.

Sonuç olarak, lojistik sektöründe yapay zekanın geleceği; teknolojik altyapının güçlendirilmesi, yetenekli iş gücünün yetiştirilmesi ve sürdürülebilir dijital stratejilerin benimsenmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Araştırma, yapay zekanın lojistik sektöründeki mevcut ve potansiyel katkılarını kapsamlı bir şekilde ortaya koymakta ve bu teknolojilerin stratejik düzeyde entegrasyonunun işletmeler için rekabet avantajı yaratma kapasitesini vurgulamaktadır.

Peer-Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author declared that this study has received no financial support.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Finansal Destek: Yazar finansal destek beyan etmemiştir.

Kaynakça

Alkinani, M. H., Almazroi, A. A., Adhikari, M., & Menon, V. G. (2022). Artificial intelligence-empowered logistic traffic management system using empirical intelligent XGBoost technique in vehicular edge networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(4), 4499-4508.

Baryannis, G., Validi, S., Dani, S., & Antoniou, G. (2018). Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179-2202. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1530476>

Blecken, A. (2010), "Supply chain process modelling for humanitarian organizations", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 40 No. 8/9, pp. 675-692. <https://doi.org/10.1108/09600031011079328>

Chottani, A., Hastings, G., Murnane, J., & Neuhaus, F. (2018). McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/distraction-or-disruption-autonomous-trucks-gain-ground-in-us-logistics#/>

Dey, A., LaGuardia, P. and Srinivasan, M. (2011), "Building sustainability in logistics operations: a research agenda", *Management Research Review*, Vol. 34 No. 11, pp. 1237-1259. <https://doi.org/10.1108/0140917111178774>

DHL. (2023). Freight Connections. <https://dhl-freight-connections.com/en/trends/logistics-trends-2023-2024/>

Dong, K., Romanov, I., McLellan, C., & Esen, A. F. (2022). Recent text-based research and applications in railways: A critical review and future trends. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 116, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105435>

Hangl, J., Behrens, V. J., & Krause, S. (2022). Barriers, drivers, and social considerations for AI adoption in supply chain management: a tertiary study. *Logistics*, 6(3), 63.

Hompel, M., & Schmidt, T. (2006). Warehouse management: automation and organisation of warehouse and order picking systems. Springer Science & Business

HUAWEI. (2024). Amplifying Industrial Digitalization & Intelligence Practice White Paper. Huawei Technologies Co. Ltd.

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 775–788. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>

Jebbor I, Benmamoun Z, Hachmi H. (2024). Revolutionizing cleaner production: The role of artificial intelligence in enhancing sustainability across industries. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 8(10): 7455. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i10.7455>

Jindal, A., Sharma, S. K., Sangwan, K. S., & Gupta, G. (2021). Modelling supply chain agility antecedents using fuzzy DEMATEL. *Procedia CIRP*, 98, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.130>

Kumar, V., Mishra, N., Chan, F. T. S., & Verma, A. (2011). Managing warehousing in an agile supply chain environment: an F-AIS algorithm based approach. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6407–6426. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.528057>

Li, F. (2022). [Retracted] Logistics Distribution Path Optimization Algorithm Based on Intelligent Management System. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), <https://doi.org/10.1155/2022/3699990>.

Li, X., Ng, X. Y. C., Zhou, Y., & Yuen, K. F. (2021). A ranking of critical competencies for shore-based maritime logistics executives in the digital era. *Technology Analysis & Strategic Management*, 35(7), 919–934. <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1988920>

Minea, M., Dumitrescu, C. M., & Dima, M. (2021). Robotic Railway Multi-Sensing and Profiling Unit Based on Artificial Intelligence and Data Fusion. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(20), 6876. <https://doi.org/10.3390/s21206876>

Mohsen, B. (2023) Impact of Artificial Intelligence on Supply Chain Management Performance. *Journal of Service Science and Management*, 16, 44–58. <https://doi.org/10.4236/jssm.2023.161004>

Morales, V. E., Sanchez, J., Escalera, J., Sharma, V., & Wheeler, B. (2024). Artificial intelligence & aviation: Content analysis of research publications from 2013–2023. <https://doi.org/10.62704/10057/28469>

Pandey (2023). Digital Transformation In Supply Chain Management: Role of IoT. *International Journal of Advanced Research in Management and Social Sciences*. 12(12), 55–62.

Pandian, A. P. (2019). Artificial intelligence application in smart warehousing

environment for automated logistics. *Journal of Artificial Intelligence*, 1(02), 63-72. <https://doi.org/10.36548/jaicn.2019.2.002>

Phusakulkajorn, W., Núñez, A., Wang, H., Jamshidi, A., Zoeteman, A., Ripke, B., ... & Li, Z. (2023). Artificial intelligence in railway infrastructure: Current research, challenges, and future opportunities. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 2, liado16. <https://doi.org/10.1093/iti/liado16>

Pilon, R. V. (2023). *Artificial Intelligence in Commercial Aviation: Use cases and emerging strategies*. Routledge.

Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>

Rosendorff, A., Hodes, A., & Fabian, B. (2021). Artificial Intelligence for last-mile logistics-Procedures and architecture. *The Online Journal of Applied Knowledge Management (OJAKM)*, 9(1), 46-61.

Sadou, A. M., & Njoya, E. T. (2023). Applications of artificial intelligence in the air transport industry: a bibliometric and systematic literature review. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 15. <https://doi.org/10.1590/jatm.v15.1312>

Tang, R., De Donato, L., Besinović, N., Flammini, F., Goverde, R. M., Lin, Z., ... & Wang, Z. (2022). A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103679>

Tsidulko, J. (2024). Oracle. <https://www.oracle.com/scm/ai-supply-chain/#challenges>

Tsolakis, N., Niedenzu, D., Simonetto, M., Dora, M., & Kumar, M. (2021). Supply network design to address United Nations Sustainable Development Goals: A case study of blockchain implementation in Thai fish industry. *Journal of Business Research*, 131, 495-519. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.003>

Wang, Y., Yao, Y., & Li, Y. (2022). The Impact of Artificial Intelligence Development on the Logistics Industry Talent Demand and Countermeasures. In *DMI* (pp. 349-359). <https://doi:10.3233/FAIA230035>

Zhang, H., Hu, R., Chen, A., Lei, Y., & Qu, H. (2024, June). Enhancing Concrete Supply Chain Efficiency in Civil Engineering through Digital Transformation: A Comprehensive Review. In *2024 8th International Conference on Civil Architecture and Structural Engineering (ICCASE 2024)* (pp. 741-753). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-449-5_73

Zhang, J., & Zhang, J. (2023). Artificial intelligence applied on traffic planning and

management for rail transport: a review and perspective. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2023(1). <https://doi.org/10.1155/2023/1832501>

Zhu, X., Liu, N., & Shi, Y. (2022). Artificial intelligence technology in modern logistics system. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 22(1-2), 66-81. <https://doi.org/10.1504/IJTPM.2022.122537>