

Econder

International Academic Journal

[Econder], 2025, 9 (1): 96-115

Lojistik Sektöründe Dijital İkiz Uygulamaları

&

Digital Twin Applications In Logistics Sector

Taner AKÇACI

Prof. Dr., Gaziantep Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü

akcaci@gantep.edu.tr

Orcid ID: 0000-0002-5343-0894

Yağmur MATYAR TANIR

Arş. Gör., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü

ymatyar@ksu.edu.tr

Orcid ID: 0000-0001-5714-1961

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types : Araştırma Makalesi/ Research Article

Geliş Tarihi / Received : 06 Mayıs 2025

Kabul Tarihi / Accepted : 30 Haziran 2025

Yayın Tarihi / Published : 30 Haziran 2025

Yayın Sezonu : Haziran

Pub Date Season : June

Cilt / Volume: 9 Sayı/ Issue: 1 Sayfa / Pages: 96-115

Atıf/Cite as: Akçacı, T., & Matyar Tanır, Y. (2025). Lojistik Sektöründe Dijital İkiz Uygulamaları. Econder Uluslararası Akademik Dergi, 9(1), 96-115.
<https://doi.org/10.35342/econder.1693393>.

İntihal /Plagiarism: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and scanned via a plagiarism software.

Copyright © Published by Hayrettin KESGİNGÖZ- KSU University, Kahrmanmaraş, 46000 Turkey. All rights reserved.

Öz

Lojistik sektöründe dijital ikiz teknolojileri, fiziksel varlıkların sanal kopyalarını oluşturarak tedarik zinciri yönetimi, depo işlemleri ve taşıma süreçlerinde büyük iyileştirmeler sağlamaktadır. Dijital ikizler, lojistik firmalarına gerçek zamanlı veri analizi imkânı sunarak daha hızlı ve isabetli kararlar alınmasını desteklemektedir. Dijital ikizler, lojistik sektöründe tedarik zinciri yönetiminden taşıma ve depo operasyonlarına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Örneğin, bir depo yönetim sisteminde dijital ikizler, fiziksel depo alanlarının sanal modellerini oluşturmaktadır. Bu sayede, ürünlerin yerleşimi, taşıma süreçleri ve envanter takibi daha verimli hale gelmektedir. Gerçek zamanlı veriler sayesinde depo operasyonları optimize edilmekte; stok seviyeleri ile taşıma süreleri daha doğru ve etkin bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Tedarik zinciri yönetiminde dijital ikizler, zincirin tamamının dijital bir kopyasını oluşturarak süreçlerin her aşamasının izlenmesini ve daha verimli bir şekilde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Böylelikle, tedarik zincirindeki aksaklıkları önceden tespit edilmekte ve hızlı bir şekilde çözüm üretilebilmektedir. Ayrıca, lojistik firmaları taşıma araçları için dijital ikiz teknolojisini kullanarak taşıma rotalarını optimize edebilmekte ve araçların bakım ihtiyaçlarını önceden belirleyebilmektedir. Dijital ikizlerin lojistik sektöründeki faydaları arasında verimlilik artışı, maliyet azaltma, gerçek zamanlı izleme, sürdürülebilirlik ve müşteri memnuniyetinin iyileştirilmesi yer almaktadır. Dijital ikizler sayesinde, lojistik süreçlerini simüle ederek daha hızlı ve doğru kararlar alınmakta, aynı zamanda taşıma ve depo yönetimindeki kaynakları optimize edilmektedir. Ancak, dijital ikizlerin uygulanması yüksek başlangıç maliyetleri, mevcut sistemlerle entegrasyon zorlukları, veri güvenliği endişeleri, eğitim gereksinimleri ve veri kalitesi gibi engellerle karşı karşıyadır. Bu zorlukların aşılması ile dijital ikizlerin lojistik sektöründeki potansiyel faydalarından tam olarak yararlanılabilmektedir. Bu aşamada sektör liderlerinden Amazon, DB Schenker, DHL, FedEx, Maersk gibi bazı küresel firmalar dijital ikiz teknolojisini benimsemiştir. Sektöründe lider konumda olan bu firmaların sağladığı bazı avantajlar ve rakiplerinden ayrıştığı önemli hususlar vardır. Bu çalışmada, dijital ikiz teknolojilerinin kavramsal çerçevesi ele alınarak, lojistik sektörünün önde gelen firmalarının bu teknolojiyi sistemlerine nasıl entegre ettiği incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, sektörde lider konumda bulunan bazı lojistik firmalarının dijital ikiz teknolojisini lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde nasıl uyguladığını, bu uygulamaların hangi hedefler doğrultusunda yürütüldüğünü, elde

edilen somut başarıları ve karşılaşılan zorlukları incelemek; bu unsurları karşılaştırmalı olarak analiz ederek, dijital ikizlerin lojistik sektöründeki potansiyel faydaları ile karşılaştığı temel zorlukları ortaya koymaktır. Dijital ikizlerin artışı ve yoğun kullanımı, lojistik firmalarının operasyonel süreçlerini iyileştirerek genel performanslarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu sebeple dijital ikiz teknolojisini benimseyen firmaların sürdürülebilirlik, esneklik ve rekabet avantajı elde etmesi, böylece sektördeki yerini güçlendirmesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Dijital İkiz, Lojistik, Uygulama

Abstract

In the logistics industry, digital twin technologies provide major improvements in supply chain management, warehouse operations and transportation processes by creating virtual copies of physical assets. Digital twins support faster and more accurate decisions by providing logistics companies with real-time data analysis. Digital twins are used in a wide range of areas in the logistics industry, from supply chain management to transportation and warehouse operations. For example, in a warehouse management system, digital twins create virtual models of physical warehouse spaces. This makes product placement, transportation processes and inventory tracking more efficient. With real-time data, warehouse operations are optimized and stock levels and transportation times can be predicted more accurately and effectively. In supply chain management, digital twins create a digital copy of the entire chain, making it possible to monitor and manage each stage of the processes more efficiently. In this way, supply chain disruptions can be identified in advance and solutions can be produced quickly. In addition, logistics companies can use digital twin technology for transport vehicles to optimize transport routes and identify vehicle maintenance needs in advance. The benefits of digital twins in the logistics industry include increased efficiency, cost reduction, real-time monitoring, sustainability and improved customer satisfaction. Thanks to digital twins, faster and more accurate decisions can be made by simulating logistics processes, as well as optimizing resources in transport and warehouse management. However, the implementation of digital twins faces barriers such as high start-up costs, integration challenges with existing systems, data security concerns, training requirements and data quality. By overcoming these challenges, the potential benefits of digital twins in the logistics industry can be fully realized. At this stage, some of the global industry leaders such as Amazon, DB Schenker, DHL, FedEx, Maersk have adopted digital twin technology. These companies, which are leaders in their sectors, have some advantages and important points that differentiate them from their competitors. The increase and intensive use of digital twins significantly improves the overall performance of logistics companies by improving their operational processes. The aim of this study is to examine how some of the leading logistics companies in the industry apply digital

twin technology in logistics and supply chain management, the objectives of these applications, the tangible achievements achieved, and the challenges encountered; and to analyze these elements comparatively.

Keywords: Digital Twin, Logistics, Applications

Giriş

1. Literatür Taraması

1.1. Dijital İkiz

Dijital ikiz kavramı, Michigan Üniversitesi'nin 2002 senesinde Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi merkezi kurulmasına dair yaptığı sunuma dayanmaktadır (Grieves ve Vickers, 2017: 93). Bu dönemde, dijital ikizlerin ilk temelleri atılmaya başlanmış ve zamanla daha geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Dijital ikizler, fiziksel varlıkların gerçek zamanlı dijital kopyalarıdır ve karmaşık yapıların simülasyonu ve analizi için her zaman erişilebilir araçlar sunmaktadır. Sensörler, makineler, robotlar ve kameralar aracılığıyla toplanan veriler, dijital ikizlerin temelini oluşturmaktadır. Bu teknolojiler, nesnelerin internetinden (IoT) elde edilen verilerle birleşerek, fiziksel varlıkların dinamik sanal temsillerini yaratır. Gerçek zamanlı verilerle çalışan dijital ikizler, sürekli izleme ve kontrol imkânı sağlamaktadır (Grieves ve Vickers, 2017: 85-86). Böylelikle kaynak kullanımı ve karar alma süreçleri iyileştirilmektedir. Dijital ikizlerin sağladığı çeşitli avantajlar vardır. Dijital ikizlerin en büyük avantajı, hareketli ve koordinasyon gerektiren karmaşık lojistik ve endüstriyel ortamlarda kendini göstermektedir. Örneğin, araçlar, vinçler, gemiler ve robotlar gibi öğeler, dijital ikizler sayesinde sanal bir ortamda modellenilebilir. Operatörler, lojistik veya fabrika hatlarının tam bir sanal temsili oluşturabilir ve böylece aksaklık yaratabilecek süreçleri tespit edebilir. Dijital ikiz operasyonları, bilgisayar görüşü, sensör analizleri ve yapay zekâ destekli sistemlerle birlikte otonom olarak izlenebilir (Crespo-Aguado vd., 2024: 1-2). Dijital ikizler, bir sürecin, ürünün ya da hizmetin sanal bir temsili oluşturmaktadır. Bu temsiller, uçaklar, bölgeler, altyapılar, nesneler ve hatta biyolojik süreçler gibi farklı varlıklar üzerinde çalışabilir. Dijital ikizler, herhangi bir ürün veya hizmetin son haline gelmeden önce sanal ortamda değiştirilip geliştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede ürün tasarımları, süreçler ve hizmetler, fiziksel hale gelmeden önce iyileştirilebilir (Barachini ve Stary, 2022: 9).

Dijital ikizlerin sunduğu diğer bir avantaj, fiziksel nesneler üzerinde herhangi bir müdahale yapmadan, bu nesneleri simüle edebilmek ve bu simülasyonlar üzerinden kararlar alabilmektir. Bu süreçte, gerçek zamanlı veri akışı sayesinde sürekli izleme ve optimizasyon yapılabilir. Dijital ikiz teknolojisi, özellikle karmaşık, dinamik ve yüksek maliyetli sistemlerin yönetiminde oldukça faydalıdır (Grieves ve Vickers, 2017: 85-86). Dijital ikiz teknolojisi hem riskleri azaltır hem de karar alma süreçlerini daha isabetli ve hızlı hâle getirmektedir.

Dijital ikizler yalnızca tek bir varlıkla sınırlı kalmamaktadır. Bu da büyük lojistik merkezleri veya küresel lojistik ağları, dijital ikizler kullanılarak modellenmesi avantajı sağlamaktadır. Örneğin, bir lojistik merkezi ya da tüm tedarik zinciri dijital ikizler aracılığıyla temsil edilebilir. Bu sayede, makinelerin durumu, ürün mevcutluğu ve diğer operasyonel süreçler dijital ortamda izlenebilir. Dijital ikizlerin kullanımı, lojistik operasyonların daha verimli, dayanıklı ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Çünkü herhangi bir aksaklık veya süreç iyileştirme gereksinimi, sanal ortamda tespit edilebilir ve zaman kaybı olmadan çözüm üretilebilir. Ayrıca, dijital ikizler sayesinde, lojistik ağındaki her aşama optimize edilebilir ve bu süreçlerin simülasyonu ile gelecekteki olası senaryolar analiz edilebilir (PR Newshire, 2019).

Dijital ikizlerin sunduğu bir başka önemli avantaj, fiziksel sistemlerin simülasyonlarının yapılabilmesidir. Dijital ikizler, gerçek dünyadaki süreçlerin sanal ortamda modellenmesine ve test edilmesine olanak tanımaktadır. Bu, fiziksel testlerin gerektirdiği yüksek maliyetlerden ve zaman kayıplarından kaçınmayı sağlamaktadır. Ayrıca, dijital ikizlerin verdiği verilerle, süreçlerin optimizasyonu yapılabilir, riskler önceden tespit edilebilir ve herhangi bir aksama durumunda hızlıca müdahale edilebilir. Bu sayede, lojistik süreçlerinde hem maliyetler azalır hem de operasyonel verimlilik artmaktadır. Dijital ikizler, üretimden lojistiğe kadar pek çok sektörde kritik bir rol oynamaktadır (Grieves ve Vickers, 2017: 85-86).

Dijital ikizler, gerçek dünyada olayların sayısal olarak modellenmesini sağlayan bir yazılımsal teknoloji olup 2017 yılından beri kullanılmaktadır. Lojistik alanında veri işleme ve doğrulama maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle dijital ikizin benimsenme oranı bu sektörde düşük kalmıştır (Negueroles, vd., 2024: 73). Fakat sektöründe lider konumda olan bazı lojistik firmaları bu teknolojilerden yararlanmaktadır.

Dijital ikizler, lojistik sektöründe operasyonel verimlilik, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi hedeflere ulaşmak için önemli bir araç haline gelmiştir. 2024 yılı itibarıyla dijital ikiz teknolojisinin pazarı, büyük bir büyüme göstererek 12,8 milyar dolarlık bir hacme ulaşmıştır ve 2035 yılına kadar 240,3 milyar doları aşması beklenmektedir. Dijital ikizlerin sektördeki kabulü hızla artarken, bu teknolojilerin tam entegrasyonunun birkaç yıl alacağı öngörülmektedir. Lojistik sektöründe dijital ikizlerin sunduğu avantajlar, verimlilik artışı, hızlı karar alma süreçleri ve maliyet optimizasyonu gibi önemli faktörleri içerir. Bu teknolojinin sunduğu faydalar, lojistik şirketlerinin daha etkin ve çevre dostu operasyonlar yapmasına olanak tanır (DHL, 2024: 117).

Lojistik sektörü, karmaşık taşıma, depolama ve dağıtım süreçlerine sahip bir alandır ve bu nedenle dijital ikizlerin sunduğu faydalardan en çok faydalanması gereken sektörlerden biridir. Dijital ikizler, lojistik süreçlerini daha verimli hale getirebilir, aksaklıkları önceden tespit edebilir ve bu süreçlerin optimize edilmesine yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, dijital ikizler, lojistik sektöründe verimliliği arttıran, süreçleri optimize eden ve maliyetleri düşüren bir teknolojidir. Bu teknoloji, fiziksel sistemlerin sanal

temsilleri sayesinde, lojistik ağlarını daha sürdürülebilir, verimli ve dayanıklı hale getirmekte büyük rol oynamaktadır.

Lojistik firmaları, dijital ikizleri kullanarak operasyonlarını daha etkili bir şekilde yönetebilir, süreçlerdeki aksaklıkları hızlıca tespit edebilir ve çevresel etkilerini minimize edebilir. Bu kapsamda bu çalışmada aşağıdaki soruların teorik olarak cevaplanması hedeflenmektedir;

- Dijital ikiz teknolojisi nedir?
- Dijital ikiz teknolojisi hangi teknolojilerden yararlanır?
- Dijital ikiz teknolojinin lojistik sektöründe önde gelen firmalarda hangi amaçlarla ve ne şekilde kullanılmaktadır?
- Dijital ikiz teknolojinin lojistik sektöründeki potansiyel faydaları ve karşılaşılan zorlukları nelerdir?

Bu çalışmada teorik olarak bu sorulara yanıt aranmaktadır. Dijital ikiz teknolojinin kullanan lojistik firmalar incelenerek bir durum analizi yapılmıştır.

1.2. Dijital İkiz Teknolojileri

Günümüzde ulaşım ve lojistik sektörünün dijital dönüşümü için sayıca fazla etkenin hesaba katıldığı çok yönlü bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Fiziksel dünyadan veri elde etme, veriyi işleme ve iletme yetenekleri sayesinde doğrudan ekonomik ve çevresel etkiler yaratılmaktadır. Bu etki var olan kaynakların optimize edilmesi için kullanılabilecek önemli bir faktördür. Fiziksel dünyayı sanal dünya ile köprüleme sürecine dijital ikiz kavramını gündeme getirmiştir (Negueroles, vd., 2024: 73). Dijital ikizler, sistem içindeki faaliyetlerin, etkileşimlerin ve farklı kararların sonuçlarını simüle ederek, üretkenlik, verimlilik ve kaliteyi arttırmayı hedeflemektedir. Bu teknoloji, lojistik ve endüstriyel alanlarda süreçlerin optimize edilmesine olanak tanır ve daha iyi karar alma mekanizmaları sağlamaktadır (Farsi vd., 2020: viii).

Dijital ikiz gerçek zamanlı veriyi toplamak, depolamak, bilgi sağlamak için bilgi edinmek amacıyla nesnelerin interneti(IoT), bulut bilişim, yapay zekâ (AI), artırılmış gerçeklik(XR) ve olmak üzere dört temel teknolojiden yararlanır (Attaran ve Çelik, 2023: 2).

1.2.1. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel nesnelerden sensörler aracılığıyla veri toplayarak bu nesnelerin dijital kopyalarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Böylelikle, fiziksel varlıkların dijital ortamda izlenmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi mümkün hale gelmektedir. Dijital kopya daha sonra analiz edilip optimize edilebilir. Nesnelerin interneti, dijital ikizlerin temelini oluşturan verilerin düzenli olarak güncellenmesini sağlamaktadır. Bu sayede dijital ikizler, gerçek zamanlı olarak fiziksel bir nesnenin sanal temsillerini oluşturur ve sürekli olarak güncellenen verilerle fiziksel nesnelerin durumunu izlemeyi mümkün kılar (Attaran ve Çelik, 2023:2). Son yıllarda, sensör teknolojisi, bulut bilişim ve yapay zekâ gibi alanlarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu gelişmeler, dijital ikizlerin doğruluğu ve yeteneklerini arttırmış, bireysel makinelerden tüm şehirlere kadar geniş bir nesne ve sistem yelpazesinde

dijital ikizlerin kullanılmasına olanak tanımıştır. Bu teknolojinin evrimi, özellikle lojistik sektörü başta olmak üzere birçok sektörde ilgi uyandırmış ve dijital ikizler, tedarik zinciri operasyonlarında devrim yaratma potansiyeline sahip olmuştur (DHL Logistics, 2024: 117). Nesnelerin internetinin gelişimi ile dijital ikiz kavramı ayrı bir ivme kazanmıştır. Nesnelerin interneti ile akıllı cihazlar yüksek miktarlardaki veriyi toplama, işleme ve iletme olanağına ulaşmıştır. Bu veri akışı ile dijital ikiz geniş uygulama alanlarında verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Dijital ikiz ve nesnelerin interneti karşılıklı bir etkileşim içindedir. Dijital ikizlerin gelişmesi, nesnelerin interneti sistemlerinin yönetilmesi ve ticarileştirilmesi için önemli katkılar sağlamaktadır. Karşılıklı etkileşim ile gelecek yıllarda bilgi teknolojileri alanında köklü değişimler yaşanması beklenmektedir (Fortino ve Savaglio, 2023: 205).

1.2.2. Bulut Bilişim

İnternet tabanlı sensörlere sahip fiziksel ürünler ya da unsurlar, bir dijital ikizin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Bu sensörler oldukça fazla adette veriyi, ürün kullanım aşamasına girince gerçek zamanlı operasyonel veri olarak kaydeder. Bu verilerin kaydedilmesi ve işlenmesi için gerektiğinde kullanılması için bulut bilişim hizmetlerinden yararlanılır. Bulut bilişime ek olarak bazı dijital platformlar aracılığıyla da verilerin merkezi bir depoda saklanması mümkün olabilir (Barachini, ve Sary, 2022: 9-10). Dijital ikiz, basit dağıtım ve ölçeklenebilirliğe imkân sağlayan bulut tabanlı bir hizmet olarak dağıtılmaktadır (Hofmann ve Branding, 2019: 2104). Bulut bilişim ile büyük miktarda veri ve bilgi birikiminin, merkezi bir ortamda toplanması, saklanması ve işlenmesi sağlanır. Bu ortamda dijital ikizin işleyişine ilişkin yöntemler ve algoritmalar geliştirilmektedir. Böylelikle sektörler arasında standartlara uygun, kapsamlı dijital destek sistemleri oluşturulur. Bulut bilişim, yüksek oranda hesaplama gücü gerektiren çözümleri esnek bir biçimde sunarak dijital ikizlerin karmaşık simülasyonlar, analizler ve karar destek sistemlerini verimli bir şekilde yürütmesine olanak tanımaktadır (Zatuliveter ve Fishchenko, 2024: 1).

1.2.3. Yapay Zekâ

Bilgisayarın işlem gücünün artması ve yapay zekânın ortaya çıkması modern depolarda nesnelerin interneti algılaması yaygınlaşmıştır. Bütün bunlar ışığında fiziksel sistemlerin gerçek zamanlı kontrolü ve dijitalleşmesi bir ihtiyaç haline gelmiştir ve dijital ikiz paradigması bunlara bağlı olarak ortaya çıkmıştır (Agalianos vd, 2020: 1634). Yapay zekâ, makinelerin deneyimlerden öğreti kazanması, farklı ortamlara adaptasyonunu ve insanlar gibi aktiviteler gerçekleştirmesini sağlayan ümit verici bir teknolojidir. Yapay zekânın dijital ikiz ile birleştirilmesi, bir taraftan dijital ikiz modellemesinin esnek ve doğru olmasını sağlarken diğer taraftan yapay zekâ ajanlarının öğrenme süreçlerinin verimliliğini artırır (Zhang, 2024: 23). Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları, dijital ikizin temelinde yer alarak Nesnelerin İnterneti aracılığıyla elde edilen yoğun miktardaki verinin düzenlenmesi ve yönetilmesini sağlamaktadır. Bu teknolojiler, veriyi optimize etmek ve süreçleri otomatikleştirmek için kritik bir rol oynamaktadır (Jacoby ve Usländer, 2020: 2). Dijital ikizler, yapay

zekâ sayesinde gerçek zamanlı verilerin analiz edilmesini sağlamakta ve gelecekte yaşanması muhtemel olayların tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum karar verme süreçlerinin optimizasyona katkı sunmaktadır. Yapay zekâ destekli dijital ikiz, sistem içinde sahip olacağı sinerji sayesinde operasyonel verimliliği arttırmakta, maliyetleri düşürmekte ve aksaklıklara yanıt verme yeteneğini geliştirmektedir (Espinosa-Jaramillo vd., 2024: 1764). Böylece yapay zekâ, dijital ikizlerin işlevselliğini ve etkinliğini arttırmaktadır.

1.2.4. Arttırılmış Gerçeklik

Arttırılmış gerçeklik, dijital ve gerçek dünyadaki nesnelerin bir arada var olduğu ve gerçek zamanlı bir şekilde etkileşim içinde olduğu dijital temsiller oluşturur. Dijital ikiz, fiziksel nesnelerin dijital modellenmesi için arttırılmış gerçeklik yetenekleri kullanır. Böylece kullanıcılar dijital içerikli etkileşim halinde olabilir (Attaran ve Çelik, 2023:2). Arttırılmış gerçeklik, insan-bilgisayar etkileşimi destekleyen bir arayüzdür. Arttırılmış gerçeklik ortamında robotların yol ve rotayı planlaması, üretim süreçlerinin takip edilmesi ve manuel olarak yürütülen faaliyetlerin üst düzey verimlilik ile yürütülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile dijital ikizlerin etkileşimleri daha sezgisel ve etkili bir hale gelmektedir (Mayer vd., 2025: 9).

Dijital ikiz teknolojisinin verimliliği için nesnelerin interneti, bulut bilişim, yapay zekâ teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Nesnelerin interneti gerçek zamanlı veriyi toplarken bulut bilişim bu verilerin depolanmasını, erişimini sağlamaktadır. Öte yandan yapay zekâ analiz ve öngörüyü desteklemekte ve sistemin zekâsını geliştirmekte, arttırılmış gerçeklik de kullanıcıyla etkileşim sürecini güçlendirmektedir (Mayer vd., 2025: 9). Bu teknolojiler arasındaki bağlantı ile dijital ikizin fiziki sistem ile senkron bir biçimde hareket etmesi ve insan-makine etkileşiminin daha sezgisel ve akıllı hale getirilmesi mümkün olmaktadır.

1.3. Dijital İkiz ve Lojistik Sektörü

DHL, Lojistik 7.0 Trend Radar Raporu'nda (2024: 118-119), dijital ikizlerin lojistik sektöründe dayanaklılığın test edilmesi, süreçlerin optimizasyonu ve tahmine dayalı bakım olmak üzere üç temel amaç için kullanıldığını açıklamıştır.

Dayanaklılığın Test Edilmesi: Dijital ikizler aracılığıyla lojistik sektöründeki beklenmedik durumlara hazırlıklı olunabilir ve gerçek operasyonlara zarar verilmeden doğal afet, siber saldırı ya da ani piyasa dalgalanmaları gibi yaşanabilecek beklenmeyen durumların simülasyonu gerçekleştirilebilir. Bu simülasyonlar beklenmeyen durumların lojistik operasyonları üzerindeki kapsamlı etkisinin görünmesini ve önlenmesini sağlamaktadır.

Lojistik Süreçlerin Optimizasyonu: Dijital ikizler, stok yönetiminin optimizasyonu, rafların daha hızlı ve verimli doldurulması gibi kaynak israfını azaltmaya ve lojistik süreçlerin verimliliğini arttırmaya yönelik çeşitli maliyet düşürme fırsatları sunmaktadır. Bu sayede, lojistik operasyonları daha akıllı ve sürdürülebilir hale gelmektedir.

Tahmine Dayalı Bakım: Dijital ikizler sayesinde ekipmanların durumu gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve olası arızaların önceden tespit edilmesiyle arızalardan

kaynaklanan maliyetlerin %40'a dek azaltılmasına yardım eder. Böylece lojistik hizmet sağlayıcıları bir yandan uzun vadeli maliyetleri düşürürken öte yandan sistem güvenilirliğini de arttırmış olur (DHL Logistics, 2024: 118-119).

1.4. Dijital İkiz Teknolojilerinin Lojistik Firmalarında Kullanımı

Dijital ikizlerin lojistik sektöründeki dönüşümü dört ana başlık altında özetlenebilir:

- 1. Tedarik Zinciri Optimizasyonu:** Dijital ikizler, lojistik süreçlerin tasarımını ve düzenini iyileştirir, verimlilik artırır. Yeni süreçlerin test edilmesini ve fiziksel varlıkların performansını optimize etmeyi sağlamaktadır.
- 2. Proaktif Hazırlık:** Dijital ikizler, tedarik zincirindeki olası kesintileri tahmin etmeye ve bu durumlardan etkilenmeden önce önlem almayı kolaylaştırır. Sanal stres testleri ile farklı senaryolar değerlendirilir.
- 3. Tahmini Bakım:** Dijital ikizler, makinelerin bakımını proaktif şekilde yönetir, arızaların önceden tespit edilmesini sağlar ve bakım sürelerini optimize eder, böylece tedarik zincirindeki kesintileri azaltır.
- 4. Sürdürülebilirlik İyileştirmeleri:** Dijital ikizler, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlamaktadır. Çevre dostu rotaların simülasyonu ve atıkların minimize edilmesi gibi sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (Maersk, 2023b).

Bu kapsamda Tablo1'de dijital ikiz teknolojilerinin lojistik firmalarında kullanım şekilleri belirli kriterler baz alınarak incelenmektedir. Tabloda kullanılan kriterlerin açıklaması bu şekildedir;

Uygulama Alanı: Dijital ikizlerin kullanıldığı alan veya sektörlerdir. Lojistik sektöründe, dijital ikizler depo yönetimi, tedarik zinciri optimizasyonu, taşıma araçları ve altyapılar gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılır.

Hedeflenen Amaçlar: Dijital ikizlerin kullanılarak elde edilmek istenen somut sonuçlar veya performans iyileştirmeleridir. Lojistikte, bu hedefler genellikle verimlilik artırma, süreçlerin optimize edilmesi, maliyetlerin azaltılması ve daha hızlı karar verme gibi amaçlarla ilişkilidir.

Başarı Hikayeleri: Dijital ikizlerin başarılı bir şekilde uygulandığı ve elde edilen olumlu sonuçların örnekleridir. Örneğin, bir lojistik firmasının dijital ikizler kullanarak konteynır izleme ve dağıtım süreçlerini optimize etmesi, yüksek verimlilik ve azalan hata oranları elde etmesi.

Zorluklar: Dijital ikizlerin uygulanmasında karşılaşılan engeller veya güçlüklerdir. Bunlar arasında veri entegrasyonu, sensör verilerinin doğruluğu, yüksek maliyetler, sistemsel uyumsuzluklar ve doğru tahminleme gibi zorluklar yer alabilir.

Tablo1. Dijital İkiz Teknolojilerinin Lojistik Firmalarında Kullanımı

	Uygulama Alanı	Hedeflenen Amaçlar	Başarı Hikayeleri	Zorluklar	Kaynak
Amazon	Lojistik Merkezi Tasarımı ve Optimizasyonu	Depo verimliliğini arttırmak, kapasiteyi arttırmak, maliyetleri düşürmek	- 3D görselleştirme ve dijital ikizlerle depo düzenini %15 iyileştirmek. - Otomatik envanter takibi ile %99,9 doğruluk.	Otomasyon yatırımlarının getirisinin tahmini, Süreç ve sistem entegrasyonu zorlukları, yüksek sermaye maliyetleri ve yatırımların zaman alması.	(Amazon, 2024a)
	Tesis Optimizasyonu ve Süreç İyileştirme	Süreç ve malzeme akışını iyileştirmek, iş gücü verimliliğini arttırmak	- Robotik ve IoT kullanımı ile iş gücü verimliliğinde %40 artış.	Yeni sistem entegrasyonu karmaşıklığı, değişken süreçler, teknoloji gerekliliği	
	Otomasyon ve Robotik Çözümleri	Depo otomasyonunu arttırmak, iş gücü ihtiyacını azaltmak	Robotik ile iş gücü maliyetlerinde %25-30 azalma	İlk yatırım maliyeti, sistem adaptasyonu, çalışan eğitimi	
	Veri Analizi ve Simülasyon	Dijital ikizlerle süreç simülasyonları ve veri odaklı analizler	- ProModel yazılımı kullanarak iş gücü ve verimlilik üzerine derinlemesine analizler yapılması.	Gelecekteki değişkenleri tahmin etme, maliyet analiz zorlukları	
	Gelecek Durum Senaryoları	- Müşterilere çeşitli depo senaryolarını simüle etme ve analiz etme imkânı sunmak. - Verimliliği arttıran alternatif tasarımlar sunmak.	- Farklı tasarım senaryolarını simüle ederek yatırım getirisini analiz etme. - Yatırım kararları için KPI'lar ve performans ölçümleriyle yönlendirme.	- Gelecekteki değişkenleri hesaba katmak ve tahmin yapmak zordur. - Yatırım ve süreç değişikliklerinin maliyetlerini doğru analiz etmek karmaşık olabilir.	

Tablo1. Dijital İkiz Teknolojilerinin Lojistik Firmalarında Kullanımı (Devamı)

	Uygulama Alanı	Hedeflenen Amaçlar	Başarı Hikayeleri	Zorluklar	Kaynak
DB Schenker	Depo Planlama ve Prototipleme	3B dijital ikizler ile depo tasarımlarını hızlıca oluşturmak ve görselleştirmek	Depo alanlarının hızlıca görselleştirilmesi, müşteri ile etkileşimli prototip süreçleri	Geleneksel tasarımda uzun hazırlık süreleri, işlevsellik görselleştirme zorlukları	Hiverlab (2024)
	Müşteri Etkileşimi	Müşterilerle etkileşimli tasarım ve prototip süreçleri sağlamak, geri bildirim almak	Müşteri geri bildirimlerini hızla almak ve karar alma süreçlerini daha verimli hale getirmek	müşteri beklentilerinin sürekli değişkenlik göstermesi	
	Veri Görünürlüğü ve Karar Destek	Depo verilerini görselleştirerek karar almayı kolaylaştırmak ve veri şeffaflığı sağlamak	Operasyonel verimliliğin artırılması, veri görünürlüğünün iyileştirilmesi, karar alma süreçlerinin hızlanması	Silolanmış ve erişimi zor operasyonel veriler, veri entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar	
	Verimlilik Artışı	Operasyonel verimliliği arttırmak, süreç hızını optimize etmek	%30 verimlilik artışı, hızlı proje onayları, maliyet tasarrufları ve operasyonel süreçlerin hızlandırılması	Operasyonel süreçlerdeki karmaşıklık, sistem entegrasyonu ve verimli yönetim zorlukları	
DHL	Depo Yönetimi, Tedarik Zinciri	Verimliliği arttırma, dayanıklılığı geliştirme, sürdürülebilirliği sağlama	Depo operasyonlarında teslimat sürelerinin %20 oranında azalması	Güvenlik riskleri: Siber saldırılara açık yeni giriş noktaları	(DHL, 2024)
	Lojistik Süreçlerinin Optimizasyonu	Operasyonel maliyetleri azaltma, karbon emisyonlarını düşürme	Maliyetlerde gözle görülür azalma ve çevresel etkilerin minimize edilmesi	Tedarik zinciri entegrasyonu için gereken uzun süre	
	Öngörülü Bakım	Sistem kesintilerini önleme, donanım arızalarını tahmin etme	Arıza oranlarının %30 oranında azalması	Veri doğruluğu için sensörlerin optimize edilmesi	
	Dayanıklılık Stres Testi	Tedarik zinciri dayanıklılığını arttırma, kesinti risklerini azaltma	Simülasyonlar sayesinde olası aksaklıkların önceden belirlenmesi	Sürekli senaryo simülasyonları için yüksek işlem gücü ihtiyacı	

Tablo1. Dijital İkiz Teknolojilerinin Lojistik Firmalarında Kullanımı (Devamı)

	Uygulama Alanı	Hedeflenen Amaçlar	Başarı Hikayeleri	Zorluklar	Kaynak
FedEx	Baskı ve Teslimat Ağı Yönetimi	Verimlilik arttırmak, operasyonel performansı optimize etmek	Dijital ikiz sayesinde operasyonel verimlilik ve teslimat hızında iyileşme	Senaryo yönetimi ve veri entegrasyonu zorlukları	(FedEx, 2021)
	Operasyonel Performans	Maliyet tasarrufu sağlamak, hizmet kalitesini arttırmak	Kaynak dağıtımı ve operasyonel verimlilikte önemli iyileşmeler	Veri doğruluğu ve izleme zorlukları	
	Kaynak Dağıtımı	Kaynakları daha etkili şekilde kullanmak	Dijital ikizle optimize edilmiş kaynak dağıtımı ve senaryo yönetimi	Ağ entegrasyonu ve doğru simülasyon yapma zorlukları	
	Müşteri Deneyimi	Hızlı yanıt, müşteri memnuniyetini arttırmak	Hata ve hasar risklerinde azalma, daha iyi müşteri deneyimi	Değişen müşteri taleplerine uyum sağlamak zor	
	Risk ve Hata Azaltma	Hata ve hasarları en aza indirmek	Dijital ikiz ile hataların ve risklerin belirgin şekilde azalması	Sistematik hataları önlemek ve yönetmek	
Maersk	Dijital İkiz Teknolojisi	Tedarik zincirinde simülasyonlar yaparak operasyonel verimliliği artırma	Dijital ikiz teknolojisi ile tedarik zincirindeki darboğazların önceden tespiti	Verinin entegrasyonu ve gerçek zamanlı senkronizasyon zorlukları	(Maersk, 2024)
	Tedarik Zinciri Optimizasyonu	Stok seviyelerini yönetme, talebi karşılama, maliyetleri azaltma	Tedarik zinciri görünürlüğünü artırarak etkin stok yönetimi	Veri kalitesi, standardizasyon ve gizlilik sorunları	
	Lojistik ve Taşıma Yönetimi	Taşıma rotalarını optimize etme, yakıt maliyetlerini düşürme	Dijital ikizlerle taşıma rotalarının verimli bir şekilde yönetilmesi	Çeşitli tedarik zinciri aktörleri arasında uyum ve veri paylaşımı	
	Depo Yönetimi	Depolama ve envanter akışlarını optimize etme, ürün kalitesini koruma	Depo operasyonlarının dijital ikizle izlenmesi ve optimizasyonu	Karmaşık tedarik zinciri yapısının dijital ikizlerle uyumlu hale getirilmesi	

1.5. Dijital İkizin Lojistik Sektöründeki Potansiyel Faydaları

Teknolojinin ve lojistiğin sorunsuz bir şekilde bir araya gelmesiyle tedarik zincirindeki genel performans artmaktadır. Dijital ikizin nasıl kullanılacağına tespit edilmesi ile operasyonel verimlilik, karar verme süreçleri ve genel performansın iyileştirilmesine yönelik faaliyetler stratejik bir biçimde gerçekleştirebilir (Vashishth vd., 353). Günümüzde, kişiselleştirilmiş müşteri deneyimlerinin artmasıyla, tüketici beklentilerinin karşılanmasına yönelik dijital tedarik zinciri becerilerinin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Dijital ikiz teknolojisi, çeşitli tedarik zinciri paydaşlarını birbirine bağlayan yeni bir teknoloji olup üretici, tedarikçi, lojistik sağlayıcı ve perakendeci gibi paydaşlar verilerin paylaşılması, iş birliği ve operasyonların optimize edilmesi amacıyla bu teknolojiden yararlanmaktadır. Bu teknoloji şeffaf ve verimli bir tedarik zinciri kurulmasını teşvik ederek pazardaki değişimlere hızlı bir şekilde cevap verilmesini sağlamaktadır. Böylelikle tedarik zinciri boyunca karşılaşılan darboğazların azaltılmasına olanak tanınır. Dijital ikiz teknolojisi paydaşları iş birliğine teşvik eder ve tedarik zincirinin görünür hale getirerek hataların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Buna ek olarak müşteri tercihleri, satın alma davranışları ve pazarın güncel durumları hakkında içgörüler edinilmesini sağlamaktadır (Javaid ve Haleem, 2025: 243). Dijital ikiz teknolojileri son kullanıcıların ürün ve malzemelerin nereden geldiğinin izlenmesini ve takip edilmesini kolaylaştırır. Dijital ikiz teknikleri ile kestirimci bakım, onarım ve risk azaltılması desteklenmektedir, böylelikle tedarik zincirinin sürdürülebilirliği ve sağlamlığı artmaktadır (Le ve Fan, 2024: 2).

Dijital ikiz teknolojisi, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde fiziksel varlıkların dijital temsillerini oluşturarak süreçlerin dijitalleştirilmesi, optimizasyonu ve dayanıklılığını artırma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknoloji, sensörler ve diğer nesnelerin interneti cihazlarından gelen gerçek zamanlı verileri kullanarak fiziksel sistemlerin sanal kopyalarını oluşturur. Bu dijital kopyalar, sistemlerin operasyonel durumlarını izleme, olası sorunları tespit etme ve performansı iyileştirme fırsatları sunar. Örneğin, tedarik zincirinde yaşanan darboğazlar, teslimat gecikmeleri ya da ekipman arızaları dijital ikiz modelleriyle önceden öngörülebilir hale gelir (Maersk, 2023a).

Dijital ikizler, lojistik süreçlerde şeffaflık ve güvenilirliği artırır. Özellikle bozulabilir mallar veya ilaçlar gibi zamanında teslimatın kritik olduğu ürünlerin dağıtımında dijital ikizler önemli avantajlar sunmaktadır. Gerçek zamanlı veri akışı ve simülasyonlar ise bu ürünlerin güvenli ve verimli bir şekilde nihai kullanıcılara ulaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca dijital ikizler, çevresel koşullara veya lojistik ağda yaşanabilecek herhangi bir aksaklığa karşı senaryoları test ederek teorik ve pratik temeller geliştirme imkânı sunar (Le ve Fan, 2024).

Tedarik zincirinin her aşamasında dijital ikizler, üretim süreçlerini optimize etmekten kaynak tahsisi ve rota planlamasına kadar birçok alanda karar almayı güçlendirir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi teknolojileriyle entegre çalışan bu sistemler, tahmine

dayalı analizlerle gelecekteki ihtiyaçlara yanıt verebilecek stratejiler geliştirir (Maersk, 2023a). Örneğin, ekipman arızaları öngörülerek bakım ve onarım süreçleri önceden planlanabilir. Uzaktan izleme özellikleri sayesinde operasyonel süreçler anında takip edilebilir ve herhangi bir sorun hızlı bir şekilde müdahale edilerek çözülür (Amazon, 2024).

Örneğin, Maersk Tankers, dijital ikiz teknolojisini lojistik sektöründe emisyonları azaltmak ve yakıt tüketimini optimize etmek amacıyla etkin bir şekilde kullanmaktadır. Şirket, 220'den fazla geminin ticari yönetimini üstlenerek, gemi sahiplerine yakıt optimizasyonu danışmanlığı ve dijital çözümlerle enerji verimliliğini artırma hizmeti sunmaktadır. Dijital ikizler, gemilerin gerçek performans verilerini sanal modellerle karşılaştırarak tasarruf potansiyelini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Bu veriler, gelecekteki seferlerde düzeltici eylemler başlatmak ve operasyonları daha verimli hale getirmek için kullanılır. Ayrıca, dijital ikizler, gemi yolculuklarını simüle eden algoritmalarla çevresel etkileri azaltmak için en uygun hız ve rota belirleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, büyük filoların verimliliğini arttırmakla kalmayıp, okyanus taşımacılığının karbon ayak izini de önemli ölçüde azaltmayı hedefler. Bu sayede, dijital ikiz teknolojisi hem operasyonel verimliliği hem de sürdürülebilirliği destekleyen yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Maersk, 2021).

Dijital ikizlerin sağladığı faydalar arasında tedarik zincirinin daha şeffaf hale gelmesi, kullanıcıların ürünlerin ve hammaddelerin kökenlerini takip edebilmesi de yer almaktadır. Bu durum, yalnızca sistemin güvenilirliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı da desteklemektedir. Doğal afetler, salgın hastalıklar ya da diğer beklenmedik olaylar karşısında lojistik sistemlerinin dirençli ve esnek bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (Le ve Fan, 2024; Maersk, 2023a).

Sonuç olarak, dijital ikiz teknolojisi lojistik sektöründe yalnızca operasyonel verimlilik sağlamamakta, aynı zamanda güvenilirlik, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik gibi kritik hedeflere ulaşmada da stratejik bir rol üstlenmektedir. Bu teknoloji, gelecekte lojistik ağlarının daha esnek, yenilikçi ve etkin bir şekilde yönetilmesine imkân tanıyacak bir dönüşüm aracıdır (Le ve Fan, 2024; Amazon, 2024; Maersk, 2023a). Dijital ikiz teknolojisi, lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde; salgın hastalık, doğal afet, hasar gibi acil durumlar ya da ekonomik dalgalanmalar karşısında operasyonların daha verimli ve kesintisiz yürütülmesini sağlayarak sistemi daha dirençli hâle getirmektedir (Le ve Fan, 2024: 2).

1.6. Dijital İkizin Lojistik Sektöründe Karşılaştığı Zorluklar

Dijital ikiz teknolojisi, lojistik sektörü başta olmak üzere birçok alanda büyük faydalar sunarken, uygulanması ve sürdürülmesi sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Öncelikle, dijital ikizlerin geliştirilmesi ve uygulanması, sensörler, platformlar, modelleme ve sürekli bakım gibi unsurlar için yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, bu sistemlerin farklı lojistik aktörleri arasında tam entegrasyonu ve birlikte çalışabilirliği, sektördeki veri silolarını aşmak için ciddi koordinasyon gerektirmektedir. Verilerin paylaşımı ve kullanımıyla ilgili

sorumluluklar da önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Sharma vd., 2022: 8; Maersk, 2023a).

Dijital ikizlerin doğruluğu, büyük ölçüde gerçek zamanlı ve yüksek kaliteli verilere dayanmaktadır. Ancak, zorlayıcı saha koşulları veya yetersiz veri erişimi, dijital ikizlerin doğruluğunu ve etkinliğini azaltabilir. Özellikle karmaşık varlıkların kimyasal, elektriksel veya termal özelliklerini doğru bir şekilde simüle etmek pahalı ve zorlayıcı olabilir. Bu durum, daha genel ve kesin olmayan tahminlere yol açabilir. Ayrıca, dijital ikizlerin fiziksel nesnelerle doğrudan bağlantılı olması, siber güvenlik risklerini arttırarak operasyonların aksamasına yol açabilecek bir tehdit oluşturabilir (DHL Logistics, 2024: 120).

Lojistik sektöründe, dijital ikizlerin ölçeklenebilirliği ve entegrasyonu da önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Pek çok lojistik birimin kendi dijital ikizleri bulunmasına rağmen, bu sistemlerin birlikte çalışabilir bir yapıya sahip olmaması, tedarik zincirinin bütüncül bir şekilde dijitalleştirilmesini engellemektedir. Ayrıca, dijital ikizlerin etkili olabilmesi için büyük miktarda doğru veriye ihtiyaç duyulmakta, ancak bu verilerin bir kısmı genellikle kullanılmadan kalmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için sektörde standartlaştırma, veri güvenliği ve iş birliği gibi kritik alanlarda ilerleme sağlanması gerekmektedir (Maersk, 2023a).

Dijital ikiz her ne kadar lojistik sektöründe yaygın olarak kullanılsa da veri kalitesinin istikrarsız olması, veri güvenliği, maliyet yüksekliği ve profesyonelliğim eksik oluşu gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Wu vd., 2025: 25).

Son olarak, dijital ikizlerin uygulama sürecinde kontrol kodlarının erken sağlanması önemlidir. Ancak, bazı sistem entegratörleri bu konuda zorluklar yaşayabilir. Ayrıca, sanal ortamda başarıyla çalışan bir model, gerçek dünyada kurulum hataları veya üretim farklılıkları nedeniyle beklenen performansı gösteremeyebilir. Bu sebeple, proje planlamasında tüm paydaşlarla uyum içinde bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir (Pandey vd., 2023: 3259).

Lojistik sektöründe dijital ikizin sürdürülebilirliği, veri kalitesi ve entegrasyonu, bilginin gerçek zamanlı işlenmesi yeteneği, model doğruluğunun korunması ve sistem ile eş zamanlı olarak çalışmasının sağlanmasına bağlıdır. Bunlar dijital ikizlerin sistem ve teknik zorluklarını oluşturmaktadır. Ancak bu zorlukların ele alınması ile, ulaştırma altyapısının planlama, tasarım, işletme, bakım ve devre dışı bırakma olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca dijital ikizlerin tam potansiyelinden faydalanabilmesini sağlamaktadır (Wu vd., 2025: 32). Dijital ikiz teknolojisinin sağladığı faydaların tam olarak kullanılabilmesi için bu zorlukların üstesinden gelinmesi, güçlü bir koordinasyon ve ileri teknoloji çözümleriyle mümkündür.

Sonuç

Dijital ikiz teknolojileri lojistik sektöründe henüz yaygın bir şekilde benimsenmemiştir; bu durumun nedeni, yüksek entegrasyon maliyetleri, veri altyapısı eksiklikleri ve firmaların teknolojik olgunluk düzeylerinin farklı olmasıdır. Ancak Amazon, DHL, DB Schenker, FedEx ve Maersk gibi sektör lideri firmalar dijital ikiz uygulamalarını kullanarak tedarik zinciri takibi, depo otomasyonu ve filo yönetimi gibi alanlarda operasyonel verimliliklerini arttırmıştır.

Bu çalışma ile lojistik sektöründe lider konumda olan Amazon, DHL, DB Schenker, FedEx ve Maersk'in dijital ikizi teknolojisini lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde nasıl uyguladığı, hangi hedefler ile yürütüldüğü, ne gibi somut başarılar elde ettiği ve karşılaşılan zorlukların neler olduğu incelenmiştir.

Dijital ikizler, fiziksel varlıkların sanal kopyalarını oluşturarak lojistik süreçlerin daha verimli ve esnek bir şekilde yürütülmesine imkân tanımaktadır. Lojistik sektöründe ise dijital ikizler; tedarik zinciri yönetimi, taşıma süreçleri ve depolama gibi alanlarda süreçlerin optimize edilmesine katkı sunmaktadır. Bu teknoloji, gerçek zamanlı izleme ve veri analizi yaparak daha doğru kararlar alınmasına olanak tanır.

Dijital ikizlerin faydaları arasında operasyonel verimlilik, maliyetlerin düşürülmesi, zaman yönetimi ve müşteri hizmetlerinin iyileştirilmesi sayılabilir. Dijital ikizler, lojistik süreçlerin gerçek zamanlı simülasyonunu ve optimizasyonunu mümkün kılarak rota planlaması, taşıma kapasitesi yönetimi, bakım tahmini ve risk analizi gibi alanlarda büyük avantajlar sağlamaktadır. Gerçek zamanlı veri analizi sayesinde, potansiyel sorunlar önceden tespit edilip çözüme kavuşturulabilir. Ayrıca, dijital ikizler, kaynakların etkin kullanımını sağlamak ve süreçlerin optimize edilmesi için kritik veriler sunmaktadır.

Dijital ikiz teknolojisinin zorlukları, yüksek başlangıç maliyetleri, veri güvenliği ve gizlilik endişeleri ile entegre edilmesi gereken mevcut sistemlerin karmaşıklığıdır. Ayrıca, dijital ikizlerin doğru çalışabilmesi için yüksek kaliteli, güvenilir veri gereklidir; bu da lojistik firmalarının veri toplama ve analiz süreçlerini güçleştirebilir.

Dijital ikiz teknolojisinin lojistik sektöründe daha etkin kullanılabilmesi için, firmaların doğru veri toplama stratejileri geliştirmeleri ve sistem entegrasyonlarını optimize etmeleri önemlidir. Ayrıca, dijital ikizlerin daha erişilebilir hale getirilmesi için standartlar ve protokoller oluşturulmalıdır. Bu teknolojinin gelişimi için araştırma ve eğitim yatırımlarının artırılması da önerilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma Amazon, DHL, DB Schenker, FedEx ve Maersk'in dijital ikiz teknolojisine yaptığı yatırımların, bu teknolojinin lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde stratejik bir araç haline geldiğini açıkça ortaya koymaktadır. Dijital ikizler, fiziksel sistemlerin sanal bir yansımasını oluşturarak süreçlerin izlenmesi, analiz edilmesi, senaryo temelli simülasyonların yapılmasına olanak tanımaktadır. Böylelikle firmalar, depo tasarımı, envanter yönetimine, taşıma rotalarının optimizasyonundan öngörülmesi bakımına dek geniş bir yelpazede operasyonel verimliliklerinin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve müşteri memnuniyetinin yükseltilmesi gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır.

Dijital ikiz teknolojileri, geleneksel lojistik süreçleriyle kıyaslandığında daha verimli, dinamik ve esnek bir yaklaşım sunmaktadır. Fiziksel süreçlerin sanal bir kopyasını oluşturmak, karar verme ve süreç optimizasyonunu daha akıllı hale getirerek sürdürülebilirlik ve müşteri memnuniyetini artırarak sektörün iş yapış şekillerinde köklü bir değişim yaşatmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, doğal afet, salgın ve ekonomik kriz gibi ani ve belirsiz durumlarda firmaların daha hazırlıklı ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu sayede firmalar sadece rekabet avantajı elde etmekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve operasyonel mükemmellik açısından da güçlü bir konuma gelir.

Gelecek çalışmalarda, sektördeki uygulamalara yönelik yapılacak farklı derinlemesine çalışmalar ile dijital ikizin yenilikçi kullanım alanları keşfedilebilir.

Kaynakça

- Agalianos, K., Ponis, S. T., Aretoulaki, E., Plakas, G., & Efthymiou, O. (2020). Discrete event simulation and digital twins: review and challenges for logistics. *Procedia Manufacturing*, 51, 1636-1641. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.228>
- Amazon (2024a). Travers., E.& Baeum M., AWS Simulation and Digital Twin to increase warehouse productivity <https://aws.amazon.com/tr/blogs/supply-chain/aws-simulation-and-digital-twin-to-increase-warehouse-productivity/> (Erişim: 30.12.2024)
- Amazon (2024b). Dijital İkiz Teknolojisi nedir?, <https://aws.amazon.com/tr/what-is/digital-twin/> (Erişim: 01.01.2025)
- Attaran, M., & Celik, B. G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>.
- Attaran, S., Attaran, M., & Celik, B. G. (2024). Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0. *Decision Analytics Journal*, 10, 100398.
- Barachini, F., & Stary, C. (2022). From digital twins to digital selves and beyond: Engineering and social models for a trans-humanist world (p. 127). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96412-2>.
- Crespo-Aguado, M., Lozano, R., Hernandez-Goberti, F., Molner, N., & Gomez-Barquero, D. (2024). Flexible Hyper-Distributed IoT-Edge-Cloud Platform for Real-Time Digital Twin Applications on 6G-Intended Testbeds for Logistics and Industry. *Future Internet*, 16(11), 431. <https://doi.org/10.3390/fi16110431>.

- DHL Logistics, (2024). Digital Twins, <https://www.dhl.com/tr-en/home/innovation-in-logistics/logistics-trend-radar/digital-twins-supply-chain.html> (Erişim Tarihi: 01.01.2025)
- DHL Logistics. (2024). The DHL Logistics Trend Radar 7.0 <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/csi/documents/pdf/glo-csi-logistics-trend-radar-7-0.pdf>
- Espinosa-Jaramillo, M. T., Chenet Zuta, M. E., Koneti, C., Jayasundar, J. S., Olivares Zegarra, S. del R., & Carvajal-Ordoñez, V. F. M. (2024). Digital twins in supply chain operations: Bridging the physical and digital worlds using AI. *Journal of Electrical Systems*, 20(10s), 1764–1774.
- Farsi, M.; Daneshkhah, A.; Hosseini-Far, A.; Jahankhani, H. (Eds.) *Digital Twin Technologies and Smart Cities*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18732-3>.
- Fedex (2021). FedEx office teams up with accenture and river logic to optimize its print production and delivery network, <https://newsroom.fedex.com/newsroom/global/fedex-office-accenture-river-logic-optimize-print-production-and-delivery-network>
- Fortino, G., & Savaglio, C. (2023). Integration of digital twins & internet of things. In *The Digital Twin* (pp. 205-225). Cham: Springer International Publishing.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- Hiverlab (2024). DB Schenker, Warehouse enhancements through Digital Twins <https://hiverlab.com/db-schenker-digital-twin-case-study/> (Erişim: 28.12.2024)
- Hofmann, W., & Branding, F. (2019). Implementation of an IoT-and cloud-based digital twin for real-time decision support in port operations. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2104-2109.
- Jacoby, M., & Usländer, T. (2020). Digital twin and internet of things—Current standards landscape. *Applied Sciences*, 10(18), 6519. <https://doi.org/10.3390/app10186519>.
- Javaid, M., & Haleem, A. (2025). Role of digital twin and blockchain in logistics and supply chain management. In *Digital Twin and Blockchain for Sensor Networks in Smart Cities* (pp. 243-264). Elsevier.
- Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109768. 85-113. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109768>.

- Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & industrial engineering*, 187, 109768.
- Maersk (2021). Dotzer., E., Maersk Tankers uses vessels' "digital twin" to slash emissions <https://maersktankers.com/newsroom/maersk-tankers-uses-vessels-digital-twin-to-slash-emissions> (Erişim Tarihi: 31.12.2024)
- Maersk (2023a). Laybourne, G., Transforming decision making in supply chain logistics with digital twins, <https://www.maersk.com/news/articles/2023/01/20/transforming-decision-making-in-supply-chain-logistics-with-digital-twins> (Erişim Tarihi: 31.12.2024)
- Maersk (2023b). Hofman., H., Four ways digital twins will shake up logistics, <https://www.maersk.com/insights/digitalisation/2023/01/31/digital-twin> (Erişim Tarihi: 31.12.2024).
- Maersk (2024). Sengupta, K. Unlocking the true potential of digital twins in supply chains, <https://www.maersk.com/insights/digitalisation/2024/05/30/digital-twins-supply-chain> (Erişim Tarihi: 01.01.2025) Pandey, A., Flam, R., Mohammed, R., & Kalidindi, A. (2023, December). Emulation and digital twin framework for the validation of material handling equipment in warehouse environments. In 2023 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 3250-3261). IEEE.
- Mayer, A., Greif, L., Häußermann, T. M., Otto, S., Kastner, K., El Bobbou, S., ... & Ovtcharova, J. (2025). Digital Twins, Extended Reality, and Artificial Intelligence in Manufacturing Reconfiguration: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 17(5), 2318.
- Negueroles, S. C., Simón, R. R., Julián, M., Belsa, A., Lacalle, I., Raúl, S., & Palau, C. E. (2024). A Blockchain-based Digital Twin for IoT deployments in logistics and transportation. *Future Generation Computer Systems*, 158, 73-88.
- PR Newswire. (2019). DHL Trend Report: Implementation of Digital Twins to Significantly Improve Logistics Operations. PR Newswire US.
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100383. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100383>.
- Vashishth, T. K., Sharma, V., Sharma, K. K., Kumar, B., Chaudhary, S., & Panwar, R. (2025). Digital twins solutions for smart logistics and transportation. In *Digital Twins for Smart Cities and Villages* (pp. 353-376). Elsevier.

- Wu, D., Zheng, A., Yu, W., Cao, H., Ling, Q., Liu, J., & Zhou, D. (2025). Digital Twin Technology in Transportation Infrastructure: A Comprehensive Survey of Current Applications, Challenges, and Future Directions. *Applied Sciences*, 15(4), 1911.
- Zatuliveter, Y., & Fishchenko, E. (2024). Principles of Scaling Cloud Computing of Digital Twins Using Accelerator Computers with Mass Multi-Core Parallelism. In 2024 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD) (pp. 1-5). IEEE.
- Zhang, Y. (2024). Artificial Intelligence for Digital Twin. In: Digital Twin. *Simula SpringerBriefs on Computing*, vol 16. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51819-5_3