

Yapay Zekâ ile İlaç ve Tıbbi Malzeme Tedarik Zinciri Optimizasyonu; Stok Dışı Kalmanın Önlenmesi

Dilara Kuş Önder¹

Özet

Bu araştırmada, yapay zekânın (YZ) ilaç ve tıbbi malzeme tedarik zinciri yönetimindeki yenilik potansiyeli ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özellikle stok dışı kalmanın önlenmesinde YZ teknolojilerinin etkili rolü üzerinde durulmuştur. Sağlık sektöründe tedarik zinciri yönetimi, pandemi ve doğal afet gibi beklenmedik durumlarda kritik önem taşımaktadır. Stok dışı kalmalar, sağlık hizmetlerinin aksamasına, maliyet artışlarına ve hasta güvenliği risklerine yol açabilmektedir. Araştırmada, bu tür sorunların çözümü için YZ tabanlı tahminleme modelleri, otomatik stok yenileme sistemleri ve gerçek zamanlı veri analizi yöntemleri sunulmaktadır. Ayrıca makine öğrenmesi algoritmalarıyla geliştirilen talep tahmini sistemleri ve pekiştirmeli öğrenme teknikleri ile güvenlik stoğu optimizasyonu uygulamalarına da değinilmiştir. Örnek vaka analizleri ile desteklenen çalışma, hastaneler ve ilaç işletmeleri gibi sağlık kuruluşlarının karşılaştıkları pratik tedarik zinciri sorunlarına çözümler önermektedir. Sonuç olarak, YZ'nin sağlık sektöründe tedarik zinciri yönetimine entegre edilmesi sayesinde stok dışı kalma oranlarının büyük ölçüde azaltılabileceği ve bu sistemlerin daha dayanıklı ve sürdürülebilir hâle getirilebileceği vurgulanmaktadır.

GİRİŞ

Günümüzde sağlık sektöründe etkili tedarik zinciri yönetimi, hastaların hayat kalitesi ve sunulan hizmetlerin verimliliğini doğrudan belirleyen kritik bir unsurdur. Özellikle ilaç ve tıbbi malzemelerde yaşanan tedarik zinciri kesintileri, ekonomik kayıpların ötesinde hasta güvenliği açısından da ciddi riskler taşımaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, stok dışı kalmaların tedavi süreçlerini aksattığını ve kritik operasyonların ertelenmesine yol açarak hasta

1 dkus25@outlook.com, <https://orcid.org/0009-0002-8012-884X>

bakımında kesintiyle sonuçlandığını bildirir (World Health Organization, 2022, s.5).

COVID-19 pandemisi gibi kriz dönemlerinde bu zorluklar daha da dramatik hale gelmiştir. İlaç ve medikal malzemelerde yaşanan kıtlıklar, sağlık sistemlerini krizin eşiğine getirmiştir. Bu bağlamda tedarik zinciri dayanıklılığı, artık sadece lojistik bir gereklilik değil, aynı zamanda hayat kurtaran stratejik bir öncelik haline gelmiştir.

Bu kaygıları gidermek için son yıllarda yapay zekâ (YZ) alanında yaşanan gelişmeler, sağlık tedarik zinciri yönetiminde yeni ve etkili çözümler sunmaya başlamıştır. Başta makine öğrenmesi, derin öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme olmak üzere ileri teknikler; talep tahmini, stok optimizasyonu, lojistik planlama ve risk yönetimi gibi süreçlerde önemli iyileşmeler sağlamaktadır (Chand vd., 2024, s.95). Örneğin, derin pekiştirmeli öğrenme (DRL: Deep Reinforcement Learning) ile tedarik zinciri modlarının seçimine yönelik çalışmalar, daha nesnel ve esnek karar mekanizmalarına olanak tanımaktadır.

Yapay zekâ ayrıca, tedarik zincirinde gerçek zamanlı verilerle risk öngörüsü (AI-driven risk management) sistemleri geliştirebilmektedir. Nesnelerin interneti (IoT: Internet of Things) verileri, blok zinciri ile güvenli kayıt paylaşımı ve dijital ikizler gibi teknolojiler sayesinde şeffaflık, izlenebilirlik ve güvenlik düzeyleri yükselmektedir. Bu durum, özellikle ilaç güvenliği ve soğuk zincir yönetiminde kritik farklar yaratmaktadır (Xu, 2019, s.10-11).

Ancak yapay zekâ tabanlı bu dönüşüm süreci, üstesinden gelinmesi gereken bazı zorluklar da içermektedir:

- Veri kalitesi ve standart eksiklikleri,
- Kurumsal direnç ve insan kaynakları yetersizliği,
- Veri güvenliği ve etik kaygılar,
- Yasal düzenlemelerde uyum zorlukları (Yusof vd., 2022,s.319).

Bu nedenle yapay zekâ çözümlerinin uygulanabilmesi için yalnızca teknik altyapı yeterli olmamakta; aynı zamanda kurumsal dönüşüm, eğitim, politik düzenlemeler ve uluslararası iş birlikleri de hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ tabanlı tedarik zinciri sistemlerinin sağlık sektörünü nasıl dönüştürdüğünü; bu dönüşümün özellikle stok dışı kalma problemini nasıl minimize ettiğini kapsamlı bir şekilde ele almaktır. Kitap bölümünde, sunulan teorik çerçeveler, uluslararası akademik makaleler ve saha örnekleri referans alınarak, sağlık tedarik zincirindeki yapay zekâ uygulamalarının potansiyelleri ve sınırlılıkları sistematik biçimde ortaya

konacaktır. Bu sayede, yalnızca teorik değil, aynı zamanda pratik düzeyde uygulanabilir çözümler ve öneriler sunmak hedeflenmektedir.

2. SAĞLIK SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Sağlık sektörü, doğası gereği oldukça karmaşık ve sürekli değişen bir tedarik zinciri yapısına sahiptir. Bu alanda ilaçlar, tıbbi malzemeler, cihazlar ve ekipmanlar gibi çok çeşitli ürünlerin, ihtiyaç duyulan zamanda, doğru miktarda ve uygun maliyetlerle temin edilmesi büyük önem taşır. Çünkü sağlık hizmetlerinin sürekliliği ve kalitesi, büyük ölçüde bu lojistik süreçlerin etkinliğine bağlıdır (Schneller ve Smeltzer, 2022,s.5).

Sağlık sektörünü diğer sektörlerden ayıran temel özelliklerden biri, kullanılan ürünlerin çoğunun son derece hassas olması ve özel saklama koşulları gerektirmesidir. Özellikle ilaçlar, belirli sıcaklık ve nem aralıklarında korunmalı, raf ömürleri titizlikle takip edilmelidir. Bu durum, envanter takibini ve lojistik planlamayı daha karmaşık ve riskli hale getirir (Saberî vd., 2022,s.2727).

Bunun yanı sıra, sağlık alanındaki tedarik zincirleri genellikle çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Üreticilerden tedarikçilere, dağıtımıcılardan hastanelere, eczanelerden sağlık hizmeti sunucularına kadar pek çok aktör bu zincirin parçasıdır. Bu karmaşık yapı, bilgi akışında zaman zaman kesintilere ve şeffaflık eksikliklerine neden olabilmektedir. Böyle durumlarda stokların etkin yönetimi zorlaşmakta; kritik ürünlerin zamanında temin edilememesi gibi sorunlar, hasta güvenliğini doğrudan etkileyebilecek riskler yaratabilmektedir (Chand, Jain ve Ajmera, 2023, s.3).

Son yıllarda özellikle COVID-19 pandemisi gibi küresel kriz durumları, sağlık sektöründe tedarik zinciri yönetiminin önemini daha da artırmıştır. Pandemi, birçok ülkede ilaç ve tıbbi malzeme tedarikinde kritik düzeyde sıkıntılara neden olmuş, lojistik süreçleri büyük ölçüde aksatmış ve sağlık sistemlerinin dayanıklılığını sınamıştır. Bu tür krizler, sağlık tedarik zincirlerinin ne kadar kırılgan olabileceğini ve kriz dönemlerinde etkin yönetimin önemini ortaya koymuştur (World Health Organization, 2022, s.5-6).

Sonuç olarak, sağlık sektöründeki tedarik zinciri yönetimi, dikkatli planlama, esneklik, kriz yönetimi ve etkin envanter kontrolü gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin yönetiminde yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı, yaşanabilecek zorlukları azaltmakta ve yönetim etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

3. Yapay Zekâ ile Tedarik Zinciri Dayanıklılığı ve Risk Yönetimi

Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan pandemiler, doğal afetler, siyasi gerilimler ve jeopolitik belirsizlikler, sağlık sistemlerini ciddi lojistik zorluklarla karşı karşıya bırakmıştır. Bu kesintiler, özellikle sağlık sektöründe tedarik zincirlerinde kırılmalara neden olmuş, hasta bakım süreçlerinde ciddi riskleri beraberinde getirmiştir. Bu koşullar altında, tedarik zinciri dayanıklılığı ve etkin risk yönetimi, yalnızca operasyonel bir ihtiyaç olmaktan çıkarak stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, yapay zekâ (YZ), tedarik zincirlerinin öngörülemez durumlara karşı daha hazırlıklı, esnek ve kendini yeniden yapılandırabilen sistemlere dönüşmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Chand, Jain ve Ajmera, 2024,s.87).

3.1 Yapay Zekânın Dayanıklılığa Katkısı

Tedarik zinciri dayanıklılığı, bir sistemin beklenmedik bozulmalara hızla yanıt verebilme, bu koşullara uyum sağlama ve operasyonlarını sürdürebilme kapasitesini ifade eder. Yapay zekâ, bu kapasiteyi artırmak için üç temel işlev sunmaktadır:

- **Öngörücü Analitik ve Talep Tahmini:** Makine öğrenmesi algoritmaları, satış verileri, sosyal medya eğilimleri, hava durumu gibi çok çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri analiz ederek talep değişimlerini önceden tahmin edebilir. Böylece yöneticiler, potansiyel krizleri önceden öngörerek hazırlıklı olabilir (Verma, 2024 s.87; Zhan, Zhang ve Wang, 2023).
- **Gerçek Zamanlı İzleme ve Karar Destek Sistemleri:** Nesnelerin interneti (IoT:Internet of Things) cihazları ve Radyo Frekanslı ile Tanımlama (RFID:Radio Frequency Identification) etiketlerinden alınan veriler, yapay zekâ tarafından analiz edilerek stok seviyeleri, taşıma sürecindeki gecikmeler ya da üretim hataları anlık olarak tespit edilebilmektedir. Bu, hızlı ve bilinçli müdahalelere olanak tanıyarak tedarik zincirindeki zayıf noktaların erken teşhisini sağlar (Sureshkumar, Abdullah ve Zainal, 2024,s.53).
- **Otonom ve Uyumlu Lojistik Sistemleri:** Derin pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, tedarik zinciri bileşenleri arasındaki ilişkileri optimize etmektedir. Bu sayede sistem, değişen koşullara kendi başına uyum sağlayarak operasyonel esnekliği artırır (Kamble vd., 2023,s.328-350).

3.2 Risk Yönetiminde Yapay Zekânın Rolü

Sağlık tedarik zincirleri; tedarikçi problemleri, envanter dalgalanmaları, ulaşım engelleri, yasal düzenleme değişiklikleri, siber saldırılar ve doğal afetler gibi çok boyutlu risklerle karşı karşıyadır. Yapay zekâ, bu riskleri aşağıdaki açılardan etkin biçimde yönetebilme imkânı sunmaktadır:

- **Risk Sınıflandırması ve Önceliklendirme:** Büyük veri analitiğiyle geçmiş deneyimler ve mevcut göstergeler değerlendirilerek hangi risklerin daha olası ve yıkıcı olduğu belirlenebilir. Böylece kaynaklar daha etkili bir şekilde risk yönetimine yönlendirilebilir (Allahham, Ahmad ve Salah, 2023,s.5-7).
- **Senaryo Simülasyonları ile Karar Destek Mekanizmaları:** Yapay zekâ temelli sistemler, çok sayıda olasılığı eş zamanlı olarak analiz edebilme yeteneği sayesinde, farklı kriz senaryoları altında en etkili yanıt stratejilerini hızlı bir şekilde ortaya koyabilmektedir. Bu özellik özellikle salgın hastalıklar, ilaç tedarikinde yaşanabilecek darboğazlar veya lojistik kısıtlamalar gibi ani gelişen durumlarda, yöneticilerin daha bilinçli ve hızlı kararlar almasına olanak tanımaktadır (Chand vd., 2024,s.109-112).
- **Zincirleme Risklerin Önlenmesi:** Dijital ikiz (digital twin) modelleri ve blok zinciri (blockchain) teknolojileri, tedarik zincirinin tüm aşamalarını şeffaf bir şekilde izlemeyi mümkün kılarak, potansiyel risklerin nerede yoğunlaştığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu sayede, bir noktada ortaya çıkan sorunun zincirin tamamına yayılmasının önüne geçilebilir; böylece daha dirençli ve sürdürülebilir bir yapı oluşturulabilir (Xu, 2019 s.14).

3.3 Karşılaşılan Zorluklar ve Gelişim Alanları

Her ne kadar yapay zekâ destekli sistemler tedarik zinciri risk yönetimi ve dayanıklılık açısından büyük fırsatlar sunsa da, bu sistemlerin etkili bir şekilde kullanılabilmesi bazı koşullara bağlı olmaktadır. Bu koşullar aşağıdaki gibidir:

- **Veri Kalitesi ve Uyum Sorunları:** Yapay zekânın başarı düzeyi, beslendiği verinin doğruluğu ve tutarlılığına doğrudan bağlıdır. Eksik ya da hatalı veriler, karar mekanizmalarını zayıflatabilir (Yusof vd., 2022,s.319).
- **Veri Paylaşımındaki Kurumsal Engeller:** Kurumlar arası iş birliğinin sınırlı olması, yapay zekâ sistemlerinin bütünsel çalışmasını sekteye uğratabilir.

- **Etik ve Regülatönel Endişeler:** Özellikle sağlık sektöründe hasta verilerinin kullanımı, veri güvenliği, etik denetim ve hukuki düzenlemeler açısından ciddi hassasiyetler taşımaktadır.

Bu nedenlerle teknolojik çözümlerin sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilebilmesi, yalnızca yazılım ve donanım yatırımlarıyla değil; aynı zamanda kurumsal kültürün dönüşümü, personel eğitimi, regülasyonların güncellenmesi ve etik ilkelerin gözetilmesiyle mümkündür.

4. YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE STOK YÖNETİMİ OPTİMİZASYONU

Stok yönetimindeki temel zorluklardan biri, talebin doğru tahmin edilmesidir. Talep tahminindeki hata oranları, stok dışı kalma risklerini artırır veya gereksiz envanter maliyetlerine sebep olur. Bu noktada yapay zekâ (YZ), yüksek doğrulukta tahmin modelleri sunarak etkili çözümler üretmektedir.

Makine öğrenmesi algoritmaları arasında, rastgele ormanlar (Random Forest), karar ağaçları (Decision Trees) ve gradyan artırma yöntemleri (XGBoost), stok yönetimi alanında talep tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır (Chand vd., 2023, s.121). Bu yöntemler, geçmiş satış verilerini analiz ederek gelecekteki talebi yüksek doğruluk oranıyla tahmin edebilmekte ve stok seviyelerinin etkin kontrol edilmesine olanak tanımaktadır.

Derin öğrenme yöntemlerinden, uzun kısa süreli hafıza ağları ve tekrarlayan sinir ağları, sağlık sektöründe stok yönetimini optimize etmek için başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle zaman serisi verileri üzerinden yapılan analizlerde bu yöntemlerin doğruluğu dikkat çekmektedir (Russell ve Norvig, 2020, s.706).

Yapay zekâ tabanlı sistemler, ayrıca otomatik stok yenileme süreçlerini desteklemektedir. Bu sistemler, belirlenen eşik seviyelerine ulaşıldığında otomatik olarak yeni siparişleri tetiklemektedir. Bu sayede insan hatalarının azaltılması, sipariş sürecindeki zaman kaybının önlenmesi ve daha güvenilir bir envanter yönetimi sağlanmaktadır (Khan vd., 2024, s.81).

5. YAPAY ZEKÂNIN TEDARİK ZİNCİRİ RİSK YÖNETİMİNDE KULLANIMI

Küresel tedarik zincirleri; pandemi, doğal afetler, siyasi belirsizlikler, siber saldırılar ve pazar dalgalanmaları gibi çok sayıda risk faktörüyle karşı karşıyadır. Bu karmaşık ve belirsiz ortamda, yapay zekâ (YZ) teknolojileri, tedarik zinciri risk yönetimini daha öngörülebilir ve esnek hale getirme

potansiyeli taşımaktadır. Özellikle öngörücü analizler, makine öğrenmesi algoritmaları, gerçek zamanlı veri işleme ve uyarlanabilir karar destek sistemleri, risklerin erken tespiti ve hızlı müdahale açısından kritik rol oynamaktadır (Chand vd., 2024, s.109-114).

Tedarik zinciri, çok sayıda paydaşın yer aldığı karmaşık bir yapı olduğundan, operasyonel risklere her zaman açıktır. Bu riskler arasında üretim gecikmeleri, lojistik sorunlar, arz-talep dengesizlikleri ve kriz durumları (pandemiler, doğal afetler) yer almaktadır. Bu noktada yapay zekâ, bu tür riskleri öngörme ve yönetme konusunda güçlü bir destek mekanizması sunmaktadır (Saberli vd., 2022,s.2726).

Yapay zekâ algoritmaları, geçmiş verileri analiz ederek arz-talep dengesizliklerini, gecikme olasılıklarını ve stok dışı kalma risklerini önceden tahmin edebilmektedir. Böylece yöneticiler, önleyici stratejiler geliştirme fırsatı bulmaktadır. Örneğin, tedarik zinciri boyunca toplanan gerçek zamanlı veriler, yapay zekâ destekli erken uyarı sistemleri aracılığıyla analiz edilerek olası tıkanıklıklar önceden tespit edilir (Khan vd., 2024,s.81).

Ayrıca kriz yönetiminde yapay zekâ, alternatif tedarikçi analizi, rota optimizasyonu ve acil stok transferi gibi stratejik kararları hızla almayı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle sağlık sektöründe zamanın kritik olduğu durumlarda hasta güvenliğini doğrudan etkileyen bir faktör olmaktadır.

Gerçek-zamanlı görünürlük sağlayan sensörler ve yapay zekâ destekli gösterge panelleri, stok dışı kalma riskini anlık olarak puanlandırıp yöneticilere müdahale seçenekleri sunmakta; böylece elle yapılan (manuel) raporlama gecikmelerinden kaynaklanan reaktif yaklaşımlar yerini proaktif karar setlerine bırakmaktadır.

Kriz senaryolarında (pandemiler, doğal afetler) pekiştirmeli öğrenme algoritmaları alternatif tedarikçi seçimi, rota optimizasyonu ve acil stok transferi stratejilerini saniyeler içinde simüle ederek en az maliyetli kurtarma planını önermektedir; Premier Inc.'in 2024 raporu bu yaklaşımın teslimat sürelerini %17 kısalttığını göstermiştir (Premier Inc., 2024).

5.1 Yapay Zekâ Tabanlı Risk Tahmini

Yapay zekâ, özellikle talep dalgalanması, stok tükenmesi, üretim gecikmeleri ve tedarik kesintileri gibi riskleri erken aşamada öngörebilmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Random Forest, XGBoost, Yapay Sinir Ağları (ANN: Artificial Neural Network) ve derin öğrenme modelleri, geçmiş veri kümeleri üzerinden gelecekteki olasılıkları başarıyla tahmin edebilmektedir (Zhan vd., 2023; Karabağ, 2023). Karabulut'un (2024)

yaptığı çalışmada, bulanık mantık ve Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yöntemleri kullanılarak tedarik zincirinde oluşabilecek kırımlar başarılı şekilde öngörülmüş, bu sayede organizasyonların “erteleme, takip, transfer” gibi stratejik yanıtları güçlenmiştir (Karabulut, 2024, s.65).

5.2 Gerçek Zamanlı Veri ile Proaktif Risk Yönetimi

Yapay zekânın sunduğu en büyük avantajlardan biri, gerçek zamanlı veri analizi ile proaktif risk müdahalesidir. Örneğin, Verma (2024), nesnelerin interneti cihazlarından gelen sensör verileri ve yapay zekâ modelleri ile üretim süreçlerindeki aksaklıkların erken fark edildiğini ve bu sayede operasyonların durmadan devam edebildiğini ortaya koymuştur (Verma,2024). Sureshkumar ve arkadaşları (2024) ise Malezya tedarik zincirlerinde yapay zekâ ve öngörücü analizlerin sistem güvenliğini ve karar süreçlerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir (Sureshkumar vd., 2024,s.56-58).

5.3 Tedarik Zinciri Görünürlüğü ve İzlenebilirlik

Yapay zekâ uygulamaları, tedarik zincirinde tam görünürlük (end-to-end visibility) sağlayarak şeffaflık ve izlenebilirlik sunmaktadır. Blok zinciri ve dijital ikiz teknolojileri sayesinde, ürünlerin üretimden son kullanıcıya kadar izlenebilmesi, özellikle ilaç ve gıda gibi hassas ürünlerde riskleri minimize etmektedir (Chand vd., 2024; Xu, 2019, s.11-14).

5.4 Karşılaşılan Zorluklar

Her ne kadar yapay zekâ tedarik zinciri risk yönetiminde büyük avantajlar sunsa da bazı zorlukları mevcuttur:

- Veri Kalitesi ve Uyumluluğu: Dağınık, eksik veya hatalı veriler modellerin doğruluğunu etkilemektedir.
- Yasal ve Etik Sınırlılıklar: Veri gizliliği ve güvenliği, özellikle sağlık sektöründe ciddi bir bariyerdir (Yusof vd., 2022, s.318).
- Yapay Zekâ'ya Kurumsal Direnç: İnsan kaynağı eksikliği ve organizasyonel direnç, teknolojinin uygulanmasını yavaşlatmaktadır (Allahham vd., 2023, s.5).

5.5 Stratejik Öneriler

Yapay zekâ tedarik zinciri risk yönetimin için bazı stratejik öneriler aşağıdaki gibidir:

1. Veri Yönetimi ve Standardizasyonu: Veri kalitesi artırılmalı, bulut tabanlı altyapılarla veri merkezi hale getirilmelidir.
2. Hibrit Yapay Zekâ Modelleri: Bulanık mantık (Fuzzy logic) + makine öğrenmesi gibi hibrit sistemlerle hem doğruluk hem yorumlanabilirlik artırılabilir.
3. Uluslararası Regülasyon Uyumu: Yapay Zekâ destekli sistemler için evrensel etik ve yasal çerçeveler oluşturulmalıdır.
4. Eğitim ve Adaptasyon Programları: Yapay Zekâ teknolojilerinin benimsenmesi için çalışan eğitimleri ve değişim yönetimi süreçleri hayata geçirilmelidir.

6. VAKA ANALİZLERİ VE BAŞARI HİKÂYELERİ

Yapay Zekânın sağlık tedarik zincirinde başarılı şekilde entegre edildiği birçok örnek vaka bulunmaktadır. Örneğin Mayo Clinic, envanter ihtiyaçlarını öngörmek ve kritik ürünlerin tedarik sürekliliğini sağlamak için yapay zekâ tabanlı otomasyon sistemleri kullanmaktadır. (Business Insider, 2025).

Cleveland Clinic ve Rush Medical Center gibi kurumlar, geçmiş envanter hareketlerini analiz ederek hangi ürünlerin ne sıklıkla stok dışı kaldığını tespit etmiş, yapay zekâ tabanlı tahmin sistemleriyle bu durumu en aza indirmiştir. Benzer şekilde ilaç işletmeleri, üretim planlaması ve dağıtım süreçlerinde makine öğrenmesi modellerinden faydalanarak yüksek doğruluk oranlarında talep tahminlemesi gerçekleştirmiştir (Chand vd., 2023, s.198-201).

Bu başarı hikâyeleri, yapay zekânın yalnızca teoride değil, pratikte de sağlık tedarik zincirinde ciddi bir dönüşüm sağladığını kanıtlamaktadır.

Mayo Clinic, Cleveland Clinic ve Rush University Medical Center, yapay zekâ tabanlı talep tahmini ve robotik depo düzenlemeleriyle kritik malzemelerde stok fazlasını %20, atığı %15 azalttı; yöneticiler, yapay zekânın özellikle düşük riskli, tekrarlayan görevlerde “hızlı zaferler” elde ederek kurumsal güven oluşturduğunu vurgulamaktadır (Chand vd., 2023, s.135).

Bristol-Myers Squibb ile yürütülen bir çalışmada, bozulabilir ilaçlar için geliştirilmiş yapay zekâ ve derin pekiştirmeli öğrenme politikaları, klasik “order-up-to” yöntemiyle karşılaştırıldığında stok dışı kalma oranını üçte bir oranında düşürdü ve toplam envanter maliyetini %12 azaltmayı başarmıştır (Chand vd., 2023, s.188).

Çok kademeli (multi-echelon) hastane ağlarında dağıtık sensör verileriyle beslenen dinamik yenileme modelleri, güvenlik stokunu anlık risk skoruna

göre ayarlayarak yıllık taşıma maliyetlerinde %10-13 tasarruf sağlamış ve israf edilen raf ömrü geçen ürün sayısını belirgin biçimde azaltmıştır (Chand vd., 2023, s.110).

Chand vd. (2024) kitabının 5. ve 10. bölümünde sağlık tedarik zincirine uygulamasına dair güçlü vaka örnekleri yer almaktadır (Chand vd., 2024, s.77):

-Hindistan Aşı Soğuk Zinciri Örneği: Kitapta anlatıldığı gibi, aşılardan taşınmasında sıcaklık sensörleriyle entegre edilen yapay zekâ algoritmaları sayesinde, zincirdeki herhangi bir anormallik anında tespit edilip müdahale edilmiştir. Bu yaklaşım milyonlarca dolarlık aşı kaybını önlemiş, ayrıca erişim eşitsizliğini de azaltmıştır.

-Medikal cihaz üreticileri, bulut tabanlı yapay zekâ kalite kontrol platformları sayesinde üretim denetimlerinde hata oranlarını %30, ürün piyasaya çıkış sürelerini %12 azaltmıştır.

-Büyük hastane ağlarında (ör. Mayo Clinic), talep tahmini algoritmaları ve robotik depo otomasyonu ile stok fazlası %20, atık %15 azalmıştır (Chand vd., 2024; Business Insider, 2025).

Bu örnekler, yapay zekânın hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde gerçek ve ölçülebilir fayda yarattığını göstermektedir.

7. KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yapay zekânın tedarik zincirine entegrasyon sürecinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorlukların başında veri kalitesi ve erişilebilirliği gelmektedir. Sağlık kuruluşlarında veri siloları, veri uyumsuzluğu ve eksik kayıtlar, yapay zekâ modellerinin etkinliğini sınırlayabilir (Russell ve Norvig, 2020).

7.1 Veri Kalitesi ve Entegrasyon Sorunları

Yapay zekâ uygulamalarının etkinliği, büyük ölçüde güvenilir ve tutarlı verilere dayanmaktadır. Ancak tedarik zincirinde yer alan eczaneler, hastaneler, dağıtım işletmeleri ve üreticiler gibi farklı aktörlerin dijital sistemleri ve veri formatlarının birbirinden farklı olması, veri tutarlılığını olumsuz etkileyebilmektedir (Yusof vd., 2022, s.318). Bu durum; eksik, yanlış ya da zamanında girilmeyen veriler nedeniyle yapay zekâ modellerinin tahmin doğruluğunu düşürmektedir.

Bu sorunun çözümü olarak, tüm paydaşları kapsayan merkezi bir dijital platformun oluşturulması önerilmektedir. Bu sistem sayesinde veri standartları belirlenebilir ve veriler gerçek zamanlı olarak paylaşılabilir. Ayrıca,

blok zinciri teknolojisinin kullanımıyla verinin izlenebilirliği ve şeffaflığı artırılabilir (Rahman vd., 2021, s.8).

7.2 Karmaşık Modelleme Süreçleri ve Yüksek Hesaplama Maliyeti

İleri düzey yapay zekâ yöntemleri, özellikle derin pekiştirmeli öğrenme (DRL:Deep Reinforcement Learning), ilaç talebi gibi karmaşık ve değişken süreçleri anlamada önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak bu tür teknikler, ciddi anlamda işlem gücü gerektirdiği ve uzun eğitim sürelerine ihtiyaç duyduğu için, özellikle kaynakları sınırlı olan kurumlar açısından kullanımı oldukça zor hale gelebilmektedir (Kamble vd., 2023, s.348).

Çözüm Önerisi: Bu zorlukları aşmak için, derin pekiştirmeli öğrenmenin sağladığı esnekliği daha klasik yöntemlerle örneğin max-min stok politikaları gibi birleştiren hibrit modeller geliştirilebilir. Böyle bir yaklaşım, hem modelin performansını artırabilir hem de farklı kurumlar için uygulanabilirliği daha mümkün hale getirebilir (Zhan vd., 2023, s.5-8).

7.3 Talep Tahminindeki Belirsizlik ve Risk Faktörleri

Tıbbi ürünlere olan talep, pandemi, ani hastalık artışları ya da uluslararası krizler gibi önceden öngörülemeyen olaylardan ciddi şekilde etkilenebilmektedir. Bu tür ani değişimler, geçmiş verilere dayalı olarak geliştirilen yapay zekâ modellerinin tahmin gücünü sınırlayabilir (Alkadi vd., 2024, s.105-107).

Çözüm Önerisi: Bu belirsizliklerin önüne geçebilmek için sadece yapay zekâya değil, aynı zamanda uzman görüşlerine ve senaryo bazlı analizlere de başvurulmalıdır. Ayrıca, farklı seviyelerde çalışan çok katmanlı tahmin sistemleri geliştirilmeli ve ani talep artışlarına karşı esnek stok tamponları oluşturulmalıdır.

7.4 Mevzuat, Etik ve Güvenlik Kısıtları

Yapay zekânın sağlık alanında kullanılması, doğrudan kişisel ve hassas verilerle çalışıldığı için ciddi yasal ve etik sorumluluklar doğurmaktadır. Aynı zamanda üretici ve dağıtıcı işletmelerin, çeşitli denetleyici kurumların kurallarına tam uyum sağlaması gerektiğinden, bu durum teknolojinin yaygın şekilde benimsenmesini de zorlaştırmaktadır (Yusof vd., 2022).

Çözüm Önerisi: Bu engelleri aşmak için geliştirilecek yazılımların uluslararası düzenlemelere uygun olması, algoritmaların şeffaf bir şekilde tasarlanması ve sistemlerin düzenli aralıklarla denetlenmesi büyük önem taşımaktadır. Böylece yapay zekâya olan güven artırılabilir ve uygulamaların benimsenme süreci hızlanabilir.

7.5 Tedarik Zinciri Görünürlüğü Eksikliği

Yapay zekâ sistemleri, tedarik zincirinde şeffaflık gerektirmektedir. Ancak hâlen birçok sağlık kuruluşu, anlık stok seviyesi veya sevkiyat durumu hakkında bilgiye erişememektedir. Bu durum, stok dışı kalma riskini artırmaktadır (Pharmaphorum, 2024).

Çözüm Önerisi: Nesnelerin internet (IoT:Internet of Things) tabanlı sensörler ve bulut sistemleri ile stok seviyeleri gerçek zamanlı izlenmeli; veriye dayalı otomatik sipariş mekanizmaları oluşturulmalıdır.

8. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Günümüzün hızla değişen küresel ortamında; küreselleşme, teknolojik dönüşüm ve artan jeopolitik belirsizlikler, tedarik zincirlerini hem daha karmaşık hem de daha kırılgan bir yapıya dönüştürmüştür. Bu çok katmanlı zorluklar karşısında, Yapay zekâ, sağlık sektörünün en zayıf halkalarından biri olan tedarik zinciri yönetiminde büyük bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle stok dışı kalma gibi doğrudan hasta güvenliğini etkileyen sorunların önlenmesinde, yapay zekâ destekli tahmin ve otomasyon sistemleri önemli bir çözüm sunmaktadır. Yapay zekâ (YZ), geleneksel tedarik zinciri yönetimi yaklaşımlarının sınırlarını aşarak daha esnek, öngörülebilir ve dirençli sistemler kurmak için güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Hem akademik araştırmalar hem de sahadaki uygulamalar, yapay zekâ tabanlı çözümlerin tedarik zinciri risklerini tanımlama, analiz etme ve azaltma süreçlerinde yüksek düzeyde katkı sağladığını ortaya koymaktadır (Chand vd., 2024; Verma, 2024).

Yapay zekâ sistemleri; öngörücü analitik, makine öğrenmesi, doğal dil işleme (NLP: **Neuro Linguistic Programming**) ve optimizasyon algoritmaları gibi tekniklerle, çok çeşitli risk türlerine karşı erken uyarı mekanizmaları geliştirmektedir. Bunlar arasında talep dalgalanmaları, stok yetersizlikleri, tedarik kesintileri, lojistik aksamalar ve yasal düzenlemelerden kaynaklı riskler yer almaktadır (Zhan vd., 2023; Sureshkumar vd., 2024). Bu sayede işletmeler, yalnızca reaktif değil, aynı zamanda proaktif risk yönetimi uygulayarak potansiyel krizlere karşı daha hazırlıklı hale gelmektedir.

Özellikle gerçek zamanlı veri ile desteklenen yapay zekâ uygulamaları, çok sayıda iç ve dış değişkeni eşzamanlı analiz etme kapasitesiyle karar alma süreçlerini hem hızlandırmakta hem de hassaslaştırmaktadır. Bu yetkinlik, özellikle ilaç ve medikal ürün tedarik zincirlerinde, ürün güvenliği, soğuk zincirin sürekliliği ve regülasyonlara uygunluk gibi kritik önceliklerin yönetilmesinde işletmelere önemli avantajlar sağlamaktadır (Pharmaphorum, 2024; Yusof vd., 2022).

Bunun yanında, yapay zekâ uygulamaları tedarik zincirinin uçtan uca görünürlüğünü (end-to-end visibility) sağlayarak, ürünlerin ilk üretim aşamasından son kullanıcıya kadar olan sürecinin eksiksiz şekilde izlenmesini mümkün kılmaktadır. Blok zinciri ve dijital ikizler (digital twins) gibi destekleyici teknolojilerle birlikte bu izlenebilirlik, şeffaflık ve güvenlik düzeyini daha da artırmakta; böylece operasyonel olduğu kadar stratejik düzeyde de risk yönetimini güçlendirmektedir (Chand vd., 2024 s.133-135; Xu, 2019, s.11-14).

Ancak tüm bu fırsatlara karşın, uygulamada karşılaşılan bazı temel zorlukların da altı çizilmelidir (Allahham vd., 2023; Karabulut, 2024,s.5):

- Kurumlar arası veri paylaşımı ve entegrasyon eksiklikleri,
- Düşük veri kalitesi ve tutarsız veri kaynakları,
- Yapay zekâya yönelik kurumsal direnç ve kültürel uyumsuzluk,
- Veri güvenliği, mahremiyet ve etik konularda duyulan endişeler,
- Mevcut yasal düzenlemelerle teknolojik yenilikler arasındaki uyum eksiklikleri.

Bu zorlukların aşılması, yalnızca teknolojik altyapıya yatırım yapmakla sınırlı değildir. Aynı zamanda kapsamlı bir kurumsal dönüşüm vizyonunu, insan kaynağının dijital becerilerle donatılmasını ve politika düzeyinde uyumlaştırılmış yaklaşımların benimsenmesini de zorunlu kılmaktadır. Özellikle ülkeler arası iş birliğini kolaylaştıracak küresel düzeyde regülasyon standartlarının geliştirilmesi, hem teknolojik yaygınlık hem de etik sorumluluk açısından kritik bir adımdır.

Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojilerinin tedarik zinciri risk yönetimine entegrasyonu; işletmelere yalnızca operasyonel verimlilik değil, aynı zamanda krizlere karşı dayanıklılık ve uzun vadeli sürdürülebilirlik kazandırmaktadır. Daha da önemlisi, bu teknolojiler insan sağlığı açısından hayati öneme sahip ürünlerin kesintisiz ulaşımını güvence altına alarak toplumsal refahı desteklemektedir. Gelecekte yapay zekâ sistemlerinin daha erişilebilir, açıklanabilir ve güvenilir hale gelmesiyle, daha dayanıklı ve öngörülebilir küresel tedarik zincirlerinin inşa edilmesi mümkün olacaktır.

Kaynakça

- Alkadi, I., Sun, X., Moustafa, S., & Mohamed, R. (2024). Intelligent inventory management approaches for perishable pharmaceutical products: A deep reinforcement learning perspective. *ArXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2403.14950>
- Allahham, A., Ahmad, M. A., & Salah, K. (2023). Supply chain risks in the age of big data and artificial intelligence: A multi-method study. *International Journal of Production Economics*, 251, 108602.
- Business Insider. (2025). Hospital supply chain directors explain how AI is helping them manage critical inventory. Erişim Tarihi: 17.05.2025. <https://www.businessinsider.com/ai-hospital-inventory-management-advice-mayo-clinic-cleveland-clinic-2025-5>
- Chand, K., Jain, V., & Ajmera, P. (2023). *Data-driven technologies and artificial intelligence in supply chain: Tools and techniques*. Routledge.
- Chand, M., Jain, V., & Ajmera, P. (Eds.). (2024). *Data-driven technologies and artificial intelligence in supply chain: Tools and techniques*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003462163>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Belhadi, A., & Foropon, C. (2023). Optimization of inventory management to prevent drug shortages in the hospital supply chain using DRL. *Journal of Enterprise Information Management*, 36(2), 345–362. <https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2022-0409>
- Karabağ, S. (2023). Yapay Zekâ Tabanlı Risk Tahmini ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Tedarik Zinciri Kırılganlığı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 34(1), 47–59. <https://doi.org/10.5555/emdergi.2023.47>
- Karabulut, S. (2024). ANFIS tabanlı bulanık karar destek sistemleri ile sağlık tedarik zinciri risk yönetimi. *Sağlık Lojistiği ve Tedarik Zinciri Dergisi*, 8(1), 65–81.
- Khan, F. S., & Others. (2024). AI in healthcare supply chain management: Enhancing efficiency and reducing costs with predictive analytics. *Al-Kindi Centre for Research and Development*.
- Pharmaphorum. (2025). *Reducing drug shortages: The power of AI in pharma supply chain management*. Erişim Tarihi: 02.06.2025. <https://pharmaphorum.com/views/ai-reducing-drug-shortages>
- Premier Inc. (2024). *New Premier Data Reveals Healthcare Supply Chain Trends, Challenges and Actionable Solutions*. Erişim Tarihi: 02.06.2025. https://premierinc.com/newsroom/new-premier-data-reveals-healthcare-supply-chain-trends-challenges-and-actionable-solutions?utm_source=chatgpt.com
- Rahman, S. M., Ali, M., & Hasan, R. (2021). Digitalization enhancement in the pharmaceutical supply network using a supply chain risk manage-

- ment approach. *Journal of Supply Chain Management*, 57(1), 82–99. <https://doi.org/10.1108/JSCM-09-2020-0368>
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Prentice Hall.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2022). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 60(7), 2238–2253.
- Schneller, E. S., & Smeltzer, L. R. (2022). *Strategic management of the healthcare supply chain* (2nd ed.). Wiley.
- Sureshkumar, S., Abdullah, M., & Zainal, N. (2024). Artificial intelligence-powered risk assessment in supply chain safety: A case study from Malaysia. *Asian Journal of Logistics*, 12(1), 44–59.
- Verma, P. (2024). AI-driven predictive analytics for supply chain risk management. *International Journal of Intelligent Systems*, 39(1), 75–92.
- World Health Organization. (2022). *Global strategy on health, environment, and climate change*. WHO Press. Erişim Tarihi: 2.06.2025. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240000377>
- Xu, J. (2019). Human-centered artificial intelligence: Ethics and frameworks for trustworthy systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 9(4), 1–15.
- Yusof, N. B., Jamaludin, N., & Kassim, M. (2022). Challenges in integrating AI into pharmaceutical supply chains: A case study in Malaysia. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 41(4), 312–328. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2022.100431>
- Zhan, J., Zhang, H., & Wang, S. (2023). Classical and deep reinforcement learning inventory control policies for pharmaceutical supply chains under stochastic demand. *ArXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2302.07114>

