

Econder

International Academic Journal

[Econder], 2025, 9 (2): 155-170

Blockchain Teknolojisinin Uluslararası Tedarik Zinciri Yönetimine Etkisi

&

The Impact of Blockchain Technology on International Supply Chain Management

Hafize KARAGENÇ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

hafize_dedeoglu@hotmail.com

Orcid ID: 0000-0001-8273-7812

Mehmet Akif DEDEOĞLU

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

makifdedeoglu@gmail.com

Orcid ID: 0009-0005-0813-2416

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types : Araştırma Makalesi/ Research Article

Geliş Tarihi / Received : 13 Ocak 2025

Kabul Tarihi / Accepted : 04 Ağustos 2025

Yayın Tarihi / Published : 31 Aralık 2025

Yayın Sezonu : Aralık

Pub Date Season : December

Cilt / Volume: 9 Sayı/ Issue: 2 Sayfa / Pages: 155-170

Atıf/Cite as: Karagenç, H., & Dedeoğlu, M., A. (2025). Blockchain Teknolojisinin Uluslararası Tedarik Zinciri Yönetimine Etkisi. Econder Uluslararası Akademik Dergi, 9(2), 155-170. <https://doi.org/10.35342/econder.1618936>.

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

Bu çalışma, blockchain teknolojisinin uluslararası tedarik zinciri yönetimine olan etkilerini incelemekte ve bu alanda sunduğu temel katkılar ile karşılaşılan zorlukları değerlendirmektedir. Blockchain teknolojisi; şeffaflık, izlenebilirlik, veri güvenliği ve maliyet tasarrufu gibi alanlarda tedarik zinciri süreçlerini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Merkeziyetsiz yapısı sayesinde işlemlerin değiştirilemez biçimde kayıt altına alınması, sahtekârlığın azaltılmasına ve tüketici güveninin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Akıllı sözleşmeler yoluyla işlemlerin otomatikleştirilmesi hem zaman tasarrufu hem de operasyonel verimlilik sunmaktadır. Bununla birlikte, blockchain teknolojisinin geniş çapta benimsenmesi çeşitli zorluklarla sınırlanmaktadır. Yüksek başlangıç maliyetleri, standart eksiklikleri ve yasal-düzenleyici belirsizlikler, teknolojinin uygulama alanlarını daraltmaktadır. Çalışma, ayrıca blockchain'in yapay zekâ (AI) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi yeni nesil teknolojilerle entegrasyonunun, tedarik zinciri yönetiminde daha sürdürülebilir ve güvenilir çözümler sunabileceğini öne sürmektedir. Sonuç olarak, blockchain'in tedarik zinciri yönetimindeki rolünün giderek artacağı ve bu alanda daha fazla akademik çalışmaya ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Blockchain, tedarik zinciri yönetimi, şeffaflık, izlenebilirlik, akıllı sözleşmeler, maliyet tasarrufu, veri güvenliği.

Abstract

This study examines the impact of blockchain technology on international supply chain management, evaluating its primary contributions as well as the challenges it faces. Blockchain offers transformative potential in areas such as transparency, traceability, data security, and cost efficiency within supply chain processes. Its decentralized structure enables immutable recordkeeping of transactions, which helps reduce fraud and enhance consumer trust. Through smart contracts, operations can be automated, resulting in both time savings and operational efficiency. However, the widespread adoption of blockchain is constrained by several challenges, including high initial implementation costs, lack of global standards, and regulatory uncertainties. The study further suggests that integrating blockchain with emerging technologies such as artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) may provide more sustainable and reliable solutions for supply chain management. In conclusion, the role of

blockchain in supply chain systems is expected to grow significantly, highlighting the need for further academic research in this area.

Keywords: Blockchain, supply chain management, transparency, traceability, smart contracts, cost efficiency, data security

Giriş

Son yıllarda blockchain teknolojisi, çeşitli sektörlerde köklü değişikliklere yol açmış ve pek çok alanda yenilikçi çözümler sunmuştur. Özellikle güvenli ve şeffaf veri yönetimi sağlaması, bu teknolojiyi oldukça cazip kılmaktadır. Blockchain, merkeziyetsiz yapısı sayesinde verilerin güvenliğini ve bütünlüğünü korur (Nakamoto, 2008). Her bir blok, önceki blokla kriptografik olarak bağlantılıdır; bu yapı sayesinde verilerin sonradan değiştirilmesi neredeyse imkânsız hale gelir. Bu özellik, özellikle finansal işlemler ve veri güvenliği açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Ayrıca blockchain, işlemlerin hızlı ve düşük maliyetli şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Bu yönleriyle, uluslararası tedarik zinciri yönetiminde de önemli bir rol üstlenmektedir (Bayramoğlu, 2020).

Tedarik zinciri yönetiminde blockchain kullanımı, ürünlerin üretimden nihai tüketiciye kadar olan yolculuğunun şeffaf ve izlenebilir olmasını mümkün kılar. Ürünlerin her bir hareketi blockchain üzerinde kayıt altına alınır ve bu kayıtlar değiştirilemez niteliktedir (Nakamoto, 2008). Bu durum, ürünlerin kökeni ve geçirdiği işlemler hakkında kesin ve güvenilir bilgilere ulaşılmasını sağlar. Özellikle gıda ve ilaç sektörlerinde, ürün güvenliğinin ve kalitesinin sağlanmasında blockchain teknolojisi büyük katkılar sunar. Sahte ürünlerin tedarik zincirine girmesi engellenirken, tüketici güveni de önemli ölçüde artar (Bayramoğlu, 2020).

Bunun yanı sıra, blockchain teknolojisi akıllı sözleşmeler (smart contracts) ile birlikte kullanılarak tedarik zinciri süreçlerinin otomatikleştirilmesini ve verimliliğin artırılmasını mümkün kılar. Akıllı sözleşmeler, önceden belirlenen koşullar sağlandığında işlemleri otomatik olarak gerçekleştirir. Bu sayede manuel müdahaleye gerek kalmaz, zaman tasarrufu sağlanır ve hata oranı düşer (Bayramoğlu, 2020). Ayrıca bu sözleşmeler, tedarik zincirindeki tüm taraflar arasında güvenli ve şeffaf bir işlem ortamı oluşturur. Böylece zincirin her bir aşaması daha güvenilir ve verimli bir yapıya kavuşur (Nakamoto, 2008).

Blockchain teknolojisinin sunduğu bir diğer önemli avantaj ise maliyetlerin düşürülmesidir. Geleneksel tedarik zinciri yönetim sistemlerinde, veri doğrulama ve güvenlik için çeşitli aracı kurumlara ihtiyaç duyulurken, blockchain bu araçları ortadan kaldırarak süreçleri sadeleştirir (Bayramoğlu, 2020). Bu durum, işlem maliyetlerinin azalmasına ve zincirin genel verimliliğinin artmasına katkıda bulunur. Ayrıca, blockchain sayesinde uluslararası ticarete gümrük işlemleri de daha hızlı ve güvenilir hâle gelir. Tüm belgelerin ve işlemlerin blockchain üzerinde şeffaf biçimde kaydedilmesi, gümrük süreçlerinin hızlandırılmasını ve hataların önlenmesini sağlar (Nakamoto, 2008).

Sonuç olarak, blockchain teknolojisi; şeffaflık, güvenlik, hız ve maliyet avantajları sayesinde uluslararası tedarik zinciri yönetiminde devrim niteliğinde yenilikler

sunmaktadır. Akademik literatürde ve iş dünyasında bu teknolojiye olan ilgi giderek artmakta, uygulanabilirliği üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmektedir. Blockchain, özellikle ürün güvenliği, kalite kontrolü ve sahte ürünlerin önlenmesi gibi kritik konularda sağladığı katkılarla tüketici güvenini artırmakta ve sektörlerin daha güvenilir biçimde faaliyet göstermesine olanak tanımaktadır. Bu nedenlerle, blockchain teknolojisinin tedarik zinciri yönetimindeki rolü, önümüzdeki yıllarda daha da önemli hale gelecek; teknolojiye yatırım yapan işletmeler, küresel rekabet ortamında önemli bir avantaj elde edecektir.

2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), işletmelerin ürünlerini ve hizmetlerini müşterilere en verimli ve etkili şekilde teslim etmelerine imkân sağlar. TZY, tüm tedarik zinciri boyunca olan faaliyetleri planlamaya, organize etmeye ve kontrol etmeye odaklanır. Bu yönetim, tedarikçilerden üreticiye, dağıtıcılardan müşterilere kadar olan tüm aşamaları kapsar ve her bir aşamada verimlilik ve etkinlik sağlanır (Acar, 2024). TZY'nin temel amacı, ürünlerin ve hizmetlerin doğru zaman, doğru yer ve doğru miktar ile minimum maliyetle müşterilere ulaştırılmasını sağlamaktır (Mentzer et al., 2001). Bu amaç doğrultusunda, tedarik zinciri boyunca iş süreçlerinin entegrasyonu ve koordinasyonu büyük önem taşır (Simchi-Levi et al., 2023). TZY, tedarik zinciri performansını artırmak için bilgi ve iletişim teknolojilerinden de yararlanır (Christopher, 2016). Ayrıca, tedarik zincirindeki tüm süreçlerin şeffaflığını ve izlenebilirliğini artırarak, karar verme süreçlerini iyileştirir (Lambert & Cooper, 2000).

TZY, işletmelerin maliyetlerini düşürmelerine ve müşteri memnuniyetini artırmalarına yardımcı olur. Bu sayede, stok yönetimini optimize eder, sipariş karşılama sürelerini kısaltır ve lojistik masraflarını azaltır (Sayın, 2024). Ayrıca, TZY, talep tahminlerinin doğruluğunu artırarak üretim süreçlerini daha etkin hale getirir (Sekerci, 2024). Tedarik zincirinde yer alan tüm paydaşlarla işbirliği yaparak, bilgi paylaşımını ve iletişimi güçlendirir (Lee et al., 2007). Bu işbirliği, tedarik zincirinde meydana gelebilecek aksaklıkları önleyerek, ürün ve hizmet akışının kesintisiz devam etmesini sağlar (Frohlich & Westbrook, 2001).

TZY, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal sorumluluk gibi konularda da önemli katkılar sağlar (Seuring & Müller, 2008). Çevresel etkileri azaltmak için geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi, çevre dostu uygulamalara odaklanan yeşil tedarik zinciri kavramını teşvik eder (Srivastava, 2007). Sosyal sorumluluk çerçevesinde ise, etik iş uygulamalarını ve işçi haklarını korumaya yönelik tedbirler alır (Carter & Jennings, 2002).

Tedarik Zinciri Yönetimi, işletmelerin rekabet gücünü artırmalarına ve pazarda daha etkili olmalarına yardımcı olur. Bu yönetim, tüm tedarik zinciri boyunca kaynak kullanımı ve süreç etkinliğini artırmak için stratejik planlamayı ve uygulamayı içerir (Acar, 2024). TZY, işletmelerin müşteri taleplerine daha hızlı ve etkili bir şekilde yanıt vermelerine olanak tanır (Sayın, 2024). Ayrıca, tedarik zinciri risklerini yöneterek, olası kriz durumlarında işletmelerin daha esnek ve dayanıklı olmalarını sağlar (Tang,

2006). TZY, yeni teknolojilerin entegrasyonu ile birlikte, dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırır ve inovasyonu teşvik eder (Gunasekaran et al., 2017). Bu bağlamda, yapay zeka, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler, tedarik zinciri süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağlar (Wang et al., 2020). Gelecek perspektifinde, TZY'nin önemi daha da artacak ve işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmelerinde kritik bir rol oynayacaktır (Christopher, 2016).

3. Blockchain'in Temel Özellikleri ve Tarihçesi

Blockchain teknolojisi, merkezi olmayan ve güvenli veri paylaşımını mümkün kılan bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. İlk kez 1991 yılında Stuart Haber ve W. Scott Stornetta tarafından dijital belgelerin zaman damgasıyla korunmasına yönelik geliştirilen bir sistemle temelleri atılmıştır (Haber & Stornetta, 1991). Ancak bu teknoloji, uzun bir süre yaygın olarak benimsenmemiştir. 2008 yılında Satoshi Nakamoto'nun yayımladığı Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System adlı makale ile blockchain, kripto para birimleri için temel altyapı olarak yeniden gündeme gelmiştir (Nakamoto, 2008).

2009 yılında Bitcoin'in piyasaya sürülmesiyle blockchain teknolojisi ilk kez pratik olarak kullanılmaya başlanmıştır (Nakamoto, 2009). Bu dönemde teknoloji, yalnızca kripto para işlemlerini kaydetmek amacıyla kullanılmıştır. Ancak 2013 yılı itibarıyla blockchain'in finans sektörü dışında da uygulanabileceği fikri yaygınlaşmıştır (Özyürek, 2021). Aynı yıl Vitalik Buterin, blockchain'in akıllı sözleşmeler gibi daha karmaşık yapılar için kullanılabileceğini öne sürmüştür (Buterin, 2013). 2015 yılında Ethereum platformunun hayata geçirilmesiyle birlikte merkeziyetsiz uygulamalar (DApps) ve akıllı sözleşmelerin kullanımı mümkün hâle gelmiştir (Wood, 2015).

2017'de Hyperledger ve IOTA gibi projeler aracılığıyla blockchain kurumsal sistemlere entegre edilmeye başlanmış, aynı yıl ICO (Initial Coin Offering) projeleri yoğun ilgi görmüş; ancak bu süreç, düzenleyici kurumların dikkatini çekmiştir (Cheng & Huang, 2019). 2020 itibarıyla ise ölçeklenebilirlik, enerji verimliliği ve işlem hızı gibi sorunlara çözüm arayan yeni nesil blockchain uygulamaları ortaya çıkmıştır. Günümüzde blockchain teknolojisi; merkeziyetsiz finans (DeFi), NFT'ler, Metaverse ve Web3 gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (İşgör, 2019). 2025 itibarıyla ise yapay zekâ ve blockchain entegrasyonuna yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Zhang, 2025).

Blockchain'in merkeziyetsiz ve güvenli yapısı, finans ve bankacılık başta olmak üzere birçok sektörde uygulama alanı bulmuştur. Kripto para işlemleri ve akıllı sözleşmeler sayesinde hızlı ve güvenilir finansal işlemler mümkün hâle gelmiştir (Özyürek, 2021). Sağlık sektöründe, hasta verilerinin güvenli biçimde saklanması ve ilaç tedarik zincirinin izlenebilirliği açısından blockchain kullanımı artmaktadır (Cheng & Huang, 2019). Tedarik zinciri yönetiminde ise ürünlerin üretimden tüketiciye kadar olan sürecinin şeffaf bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır (Kim, 2020).

Bununla birlikte blockchain, gayrimenkul ve tapu işlemlerinde mülkiyetin güvenli şekilde devrini, oylama sistemlerinde ise şeffaf ve denetlenebilir seçim süreçlerini desteklemektedir (Cheng & Huang, 2019; Özyürek, 2021). Eğitim alanında da

üniversite diplomaları ve akademik belgelerin doğrulanması için blockchain temelli sistemlerin kullanımının arttığı gözlenmektedir (Kim, 2020).

Ayrıca blockchain, nesnelerin interneti (IoT) ile entegre edildiğinde cihazlar arası güvenli veri paylaşımını desteklemekte; yapay zekâ ile birleştğinde ise daha merkeziyetsiz ve özerk dijital sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Özyürek, 2021).

Blockchain teknolojisinin temel özellikleri arasında değiştirilemezlik, şeffaflık ve güvenlik yer alır. Her blok, kendinden önceki bloğa kriptografik olarak bağlanır ve bu zincirin bütünlüğünü sağlar. Veriler birden fazla bilgisayara dağıtılarak saklanır ve sistemin herhangi bir merkezi otoriteye bağlı kalmadan çalışmasına olanak tanınır (Avunduk & Aşan, 2018; Swan, 2015). Bu yapı, işlemlerin geri alınamaz ve değiştirilemez olmasını sağlarken, katılımcılar arasında oy birliğiyle karar alınmasını da mümkün kılar.

Şeffaflık: Blockchain teknolojisi, veri güvenliği ve şeffaflığı sağlamak amacıyla merkeziyetsiz bir defter (distributed ledger) sistemine dayanır. Her blok, kendinden önceki bloğa kriptografik olarak bağlı olduğu için verilerin izinsiz değiştirilmesi ve manipülasyonu oldukça zordur (Morales-Alarcón et al., 2024). Bu yapı, tedarik zinciri yönetimi, finansal işlemler ve kaynak yönetimi gibi alanlarda işlem şeffaflığını artırır (Caldarelli & Ellul, 2021). Blockchain sisteminde tüm katılımcılar, blokların doğrulanması sürecine dâhil olur ve oy birliği mekanizması sayesinde sistemin bütünlüğü korunur (Janssen, 2019). Özellikle kripto paraların temel altyapısını oluşturan blockchain, işlemlerin geri alınamaz ve değiştirilemez olmasını sağlayarak güvenli bir kayıt yapısı sunar. Ayrıca akademik kayıtlar gibi doğrulama gerektiren alanlarda da şeffaflık sağlayarak, dolandırıcılığı ve veri manipülasyonunu önlemeye yardımcı olur (Morales-Alarcón et al., 2024).

Değiştirilemezlik: Blockchain teknolojisi, verilerin değiştirilmesini ve manipülasyonunu zorlaştıran yapısıyla dikkat çeker. Her blok, kendisinden önceki bloğa kriptografik hash işlevleriyle güvenli bir şekilde bağlanır ve bu sayede zincirin bütünlüğü korunur (Ali et al., 2020; Özyürek, 2021). Bu yapı, sistemde yapılacak herhangi bir değişikliğin izlenebilir olmasını sağlar. Blockchain, tedarik zinciri yönetimi, finansal işlemler ve kaynak yönetimi gibi pek çok alanda kullanılarak işlemlerin kalıcılığını ve güvenliğini artırır (Zyskind et al., 2015). Sistemin değiştirilemezliği, katılımcılar arasında oy birliği gerektiren doğrulama mekanizması sayesinde desteklenir (Abadi & Brunnermeier, 2018). Bu teknoloji, özellikle kripto para sistemlerinin temel altyapısını oluşturmakla birlikte, akademik kayıtların korunması gibi alanlarda da güvenilirlik sunar (Janssen, 2019; Özyürek, 2021). Böylece blockchain, çeşitli sektörlerde güvene dayalı işlemlerin şeffaf ve müdahaleye kapalı şekilde yürütülmesini sağlayarak önemli yapısal dönüşümlere katkıda bulunur (Ali et al., 2020).

Güvenlik: Blockchain teknolojisi, verilerin güvenliğini sağlamak amacıyla kriptografik hash işlevleri ve merkeziyetsiz yapıyı kullanır (Ali et al., 2020). Bu yapı

sayesinde, verilerin değiştirilmesi ve manipüle edilmesi son derece zorlaşır. Blockchain; tedarik zinciri yönetimi, finansal işlemler ve kaynak yönetimi gibi birçok alanda uygulanmakta ve bu süreçlerin güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Zyskind et al., 2015).

Ayrıca blockchain sisteminde, blokların doğrulanması için katılımcılar arasında oy birliği (konsensüs) mekanizması gereklidir. Bu mekanizma, sistemin bütünlüğünü ve güvenliğini koruma açısından kritik bir rol oynar (Abadi & Brunnermeier, 2018).

Blockchain teknolojisi, özellikle kripto paraların arkasındaki temel altyapı olarak bilinir; işlemlerin geri alınamaz ve değiştirilemez olması da bu güvenlik yapısının bir parçasıdır (Janssen, 2019). Bunun yanı sıra, akademik çalışmaların değerlendirilmesi gibi alanlarda da blockchain kullanımı, manipülasyon ve dolandırıcılığın önlenmesine katkı sağlamaktadır (Morales-Alarcón et al., 2024).

Tüm bu özellikleriyle blockchain, birçok sektörde güvenlik, şeffaflık ve veri bütünlüğü açısından devrim niteliğinde dönüşümlere öncülük etmektedir (Caldarelli & Ellul, 2021).

Akıllı Sözleşmeler: Akıllı sözleşmeler, blockchain teknolojisinin önemli bir bileşenidir ve belirli koşullar yerine getirildiğinde, işlemlerin otomatik olarak yürütülmesini sağlar (Taherdoost, 2023). Merkeziyetsiz bir yapıda çalışan bu sözleşmeler, güvenilir olmayan taraflar arasında bile aracıya ihtiyaç duymadan işlemlerin doğrudan ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılar (Thind, 2020).

Ethereum gibi platformlar, akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi ve uygulanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Khan et al., 2021). Bu sözleşmeler; finansal işlemler, tedarik zinciri yönetimi ve diğer birçok alanda etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Taherdoost, 2023).

Bununla birlikte, akıllı sözleşmeler bazı zorluklarla da karşı karşıyadır. Özellikle güvenlik açıkları ve mevcut yasal altyapı eksiklikleri, bu teknolojinin daha geniş ölçekli benimsenmesini sınırlayabilmektedir (Khan et al., 2021).

Tüm bu yönleriyle akıllı sözleşmeler, blockchain teknolojisinin şeffaflık ve güvenlik avantajlarını güçlendirerek, çeşitli sektörlerde dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir (Taherdoost, 2023).

4. Blockchain'in Tedarik Zinciri Yönetimine Katkıları

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde birçok alanda önemli yenilikler ve iyileştirmeler sunmaktadır. Öncelikle, blockchain; tedarik zincirindeki işlemlerin şeffaflık ve izlenebilirliğini artırarak, her bir aşamada gerçekleşen faaliyetlerin kayıt altına alınmasını ve takip edilmesini mümkün kılmaktadır (Kshetri, 2024). Bu durum, tedarik zincirinde veri bütünlüğünün ve güvenilirliğin artmasına katkı sağlar (Tian & Yan, 2024).

İkinci olarak, blockchain teknolojisi, tedarik zincirinde yer alan paydaşlar arasında bilgi paylaşımını ve iş birliğini kolaylaştırmakta; böylece tüm aktörlerin güvenli ve

şeffaf biçimde iletişim kurabilmesine olanak tanımaktadır (Kamilaris et al., 2024). Bu yapı, hataların ve gecikmelerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Nakamoto, 2024).

Üçüncü olarak, blockchain sistemleri aracılığıyla kullanılan akıllı sözleşmeler, belirli koşullar sağlandığında işlemlerin otomatik olarak gerçekleştirilmesini mümkün kılar (Casino et al., 2024). Bu, işlem sürelerinin kısaltılmasına ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlar.

Dördüncü olarak, blockchain, sahtekârlık ve hileli işlemlere karşı güvenlik sağlayarak tedarik zincirinde şeffaflığı artırmakta ve tüketici güvenini yükseltmektedir (Kshetri, 2024; Tian & Yan, 2024).

Son olarak, blockchain teknolojisi, geleneksel tedarik zinciri yönetim sistemlerinde gerekli olan aracı kurumları ve manuel doğrulama süreçlerini ortadan kaldırarak, maliyet ve zaman açısından önemli avantajlar sunar (Kamilaris et al., 2024; Nakamoto, 2024). Özellikle uluslararası ticarete, blockchain kullanımı sayesinde gümrük işlemleri hızlandırılabilir ve belgelerin doğrulanması daha kolay hale gelebilir.

4.1. Şeffaflık ve İzlenebilirlik

Blockchain, ürünlerin üretimden nihai tüketiciye kadar olan yolculuğunu ayrıntılı ve değiştirilemez bir biçimde kaydedebilir. Bu şeffaf yapı, hem tüketicilere güven sağlar hem de işletmelerin tedarik zincirindeki olası sorunları hızlı bir şekilde tespit etmesine yardımcı olur (Tian, 2016). Örneğin, gıda ürünlerinin kaynağını belirlemek ve tedarik sürecini izlemek için blockchain teknolojisinin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Carrefour, 2021).

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde şeffaflık ve izlenebilirliği artırarak tüm süreçlerin daha görünür ve takip edilebilir hâle gelmesini sağlar (Balcioglu et al., 2024). Bu sayede, tedarik zincirinin her aşamasında gerçekleşen işlemler ve değişiklikler anlık olarak kaydedilip denetlenebilir (Balcioglu et al., 2024).

Ayrıca blockchain'in merkeziyetsiz yapısı, tüm paydaşların güvenli bir ortamda veri paylaşmasını ve işlem gerçekleştirmesini mümkün kılar (Dasaklis et al., 2022). Bu durum, sahte ürünlerin tedarik zincirine girmesini ve hatalı ya da yanlış bilgilerin yayılmasını önleyerek bilgi güvenliğini sağlar (Dasaklis et al., 2022).

Blockchain teknolojisi, her bir ürünün kökeninin ve geçirdiği süreçlerin izlenmesini ve doğrulanmasını kolaylaştırır. Bu da tüketici güveninin artmasına ve tedarik zincirinin genel güvenliğinin ve verimliliğinin sağlanmasına katkı sunar (Dasaklis et al., 2022). Aynı zamanda blockchain, işlemlerin otomatikleştirilmesini mümkün kılarak süreçlerin hızlanmasına ve operasyonel verimliliğin artmasına olanak tanır (Dasaklis et al., 2022).

4.2. Maliyet ve Zaman Tasarrufu

Geleneksel tedarik zinciri süreçlerinde yer alan aracı kurumların ortadan kaldırılması, işlem sürelerinin kısaltılmasına ve maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlar. Bu noktada, blockchain teknolojisi önemli bir avantaj sunar. Özellikle akıllı sözleşmeler,

manuel işlemleri otomatikleştirerek hem iş gücünden tasarruf sağlar hem de süreçleri hızlandırır (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde maliyet ve zaman tasarrufu sağlamak amacıyla etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Tunaboğlu & Birinci, 2022). Bu teknoloji, geleneksel sistemlerdeki araçları devre dışı bırakarak işlem maliyetlerini azaltır. Aynı zamanda, sunduğu şeffaflık ve izlenebilirlik özellikleri sayesinde işlemlerin daha hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır (Sharabati & Jreisat, 2024). Bu durum, süreçlerin genel verimliliğini artırırken zaman kaybını da önemli ölçüde azaltır.

Blockchain, tedarik zincirinin her bir aşamasında gerçekleşen işlemlerin ve değişikliklerin anlık olarak kayıt altına alınmasını ve izlenmesini sağlar (Treiblmaier, 2023). Böylece işlemler hem daha güvenilir hem de daha hızlı şekilde tamamlanabilir.

Ayrıca blockchain teknolojisi, tedarik zinciri işlemlerinin otomatikleştirilmesini mümkün kılarak operasyonel verimliliği artırır (Gurtu, 2019). Bu bütünsel yapı, tedarik zinciri ağlarında kaynak kullanımını optimize ederken, işletmelerin rekabet gücünü de artırmaktadır.

4.3. Güvenli Veri Paylaşımı

Blockchain teknolojisi, tedarik zincirindeki tüm paydaşlar arasında güvenli veri paylaşımını mümkün kılar. Bu özellik, özellikle uluslararası ticarete farklı taraflar arasında şeffaf ve güvenilir bilgi akışının sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir (Toyoda et al., 2017). Blockchain, tedarik zinciri yönetiminde güvenli veri paylaşımını sağlamak için etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Sharabati & Jreisat, 2024).

Bu teknoloji, verilerin merkezi olmayan bir yapıda güvenli bir şekilde paylaşılmasını ve yönetilmesini mümkün kılar (Tunaboğlu & Birinci, 2022). Ayrıca blockchain'in sunduğu şifreleme ve dijital imzalama özellikleri, verilerin değiştirilmesini ve manipülasyonunu önleyerek veri bütünlüğünü korur (Casino et al., 2019). Böylece, tedarik zincirindeki tüm taraflar arasında güvenilir ve doğrulanabilir veri paylaşımı sağlanır (Dasaklis et al., 2022).

Blockchain, tedarik zincirindeki her aşamada gerçekleşen işlemlerin ve değişikliklerin anlık olarak kaydedilmesini ve izlenmesini mümkün kılar (Treiblmaier, 2023). Bu sayede, verilerin doğrulanabilirliği ve güvenliği artarken, işlemlerin şeffaflığı da sağlanmış olur (Dasaklis et al., 2022). Ayrıca, blockchain teknolojisi, tedarik zincirindeki işlemlerin otomatikleştirilmesini sağlayarak süreçlerin verimliliğini artırır (Gurtu, 2019).

4.4. Sahtekârlık ve Hata Azaltımı

Blockchain üzerindeki verilerin değiştirilemez yapısı, sahtekârlık girişimlerini ve veri tutarsızlıklarını önemli ölçüde azaltır (Casino et al., 2019). Bu teknoloji, tedarik zinciri yönetiminde sahtekârlık ve hata azaltımı için önemli bir araçtır (Dasaklis et al., 2022). Verilerin merkezi olmayan ve güvenli bir şekilde paylaşılması ve yönetilmesini sağlar (Tunaboğlu & Birinci, 2022). Ayrıca, blockchain'in şifreleme ve dijital imzalama özellikleri, verilerin değiştirilmesini ve manipülasyonunu önleyerek veri

bütünlüğünü korur (Casino et al., 2019). Bu sayede, tedarik zincirindeki tüm taraflar arasında güvenilir veri paylaşımı sağlanır (Dasaklis et al., 2022).

Blockchain, tedarik zincirinin her aşamasında gerçekleşen işlemlerin ve değişikliklerin anlık olarak kaydedilmesini ve izlenmesini mümkün kılar (Treiblmaier, 2023). Böylece verilerin doğrulanabilirliği ve güvenliği artar (Dasaklis et al., 2022). Ayrıca, blockchain teknolojisi, tedarik zincirindeki işlemlerin otomatikleştirilmesine ve süreçlerin verimliliğinin artırılmasına da katkı sağlar (Gurtu, 2019).

4.5. Uygulama Örnekleri

Dock, blockchain ve Verifiable Credentials teknolojilerini kullanarak tedarik zincirindeki sahtekârlığı önlemektedir (Dock, 2024). Bu teknoloji, tüm tedarik zincirindeki işlemlerin güvenli ve şeffaf bir şekilde kaydedilmesini sağlayarak sahtekârlık ve hata oranlarını azaltır (Dock, 2024).

Gıda güvenliği ve sağlığı alanında blockchain teknolojisi önemli katkılar sunmaktadır (Food Safety, 2024). Özellikle, gıda üretiminden tüketiciye kadar olan süreçlerin tamamen izlenebilir ve doğrulanabilir hale getirilmesi sağlanmakta; bu sayede kontamine gıdaların hızlı tespiti ve hataların azaltılması mümkün olmaktadır (Food Safety, 2024).

Rapid Innovation, blockchain teknolojisi kullanarak tedarik zincirindeki sahtekârlığı ve hataları azaltmayı hedeflemektedir (Rapid Innovation, 2024). Bu teknoloji, tedarik zincirindeki işlemlerin şeffaf ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayarak sahtekârlık ve hata oranlarını düşürür (Rapid Innovation, 2024).

Deloitte'nin 2020 tarihli araştırması, blockchain teknolojisinin tedarik zincirindeki sahtekârlık ve hata oranlarını azaltma potansiyeline dikkat çekmektedir (Deloitte, 2020). Araştırmada, blockchain'in tedarik zincirindeki işlemlerin şeffaf ve güvenli şekilde yapılmasını sağladığı vurgulanmıştır (Deloitte, 2020).

Hodler da blockchain teknolojisini kullanarak tedarik zincirindeki sahtekârlık ve hataların azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Asset Hodler, 2024). Bu teknoloji, işlemlerin şeffaf ve güvenli gerçekleşmesini mümkün kılarak sahtekârlık ve hata oranlarını minimize eder (Asset Hodler, 2024).

4.6. Zorluklar ve Gelecek Perspektifi

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, çeşitli zorluklarla da karşı karşıyadır (Jabbar et al., 2020). Veri parçalanması, güvenilir bilgi kaynaklarının eksikliği ve farklı protokol düzenlemeleri, blockchain'in tedarik zincirinde uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır (Jabbar et al., 2020). Ayrıca, teknolojinin geniş çapta benimsenmesi önünde hem teknik hem de teknik olmayan birçok engel bulunmaktadır (Sharabati & Jreisat, 2024). Bu engeller arasında ölçeklenebilirlik sorunları, uyumluluk eksiklikleri, yasal ve düzenleyici belirsizlikler, yüksek başlangıç maliyetleri ve sürdürülebilirlik ile ilgili maliyetler yer almaktadır (Sharabati & Jreisat, 2024).

Blockchain'in tedarik zincirine entegrasyonu ile ilgili karşılaşılan başlıca zorluklar şunlardır:

- **Yüksek Başlangıç Maliyetleri:** Blockchain altyapısının kurulumu ve sistemlerin dönüştürülmesi büyük yatırımlar gerektirir (Yermekbayev et al., 2021).
- **Standartlaştırma Eksikliği:** Blockchain sistemlerinin küresel tedarik zinciri ağlarında nasıl standartlaştırılacağı henüz netlik kazanmamıştır (Kshetri, 2018).
- **Yasal ve Düzenleyici Engeller:** Uluslararası ticaret bağlamında, farklı ülkeler arasında ortak ve uyumlu düzenleyici çerçeveler oluşturmak önemli bir sorundur (Wang et al., 2019).

Ayrıca, blockchain teknolojisinin mevcut sistemlerle entegrasyonu ve teknolojinin standart hale getirilmesi, uygulamadaki karmaşıklıkları daha da artırmaktadır (Sharabati & Jreisat, 2024). Bununla birlikte, gelecekte blockchain'in yapay zeka ve nesnelerin interneti (IoT) gibi diğer dijital teknolojilerle entegrasyonu sayesinde bu zorlukların büyük ölçüde aşılabileceği öngörülmektedir (Viriyaşitavat et al., 2019).

Blockchain, bu engellere rağmen tedarik zincirinde işlemlerin şeffaf ve güvenli şekilde yürütülmesini sağlayarak, sistem genelinde güveni ve verimliliği artırma potansiyelini sürdürmektedir (Treiblmaier, 2023).

5. Sonuç

Blockchain teknolojisinin uluslararası tedarik zinciri yönetimine etkisi, pek çok açıdan dönüşüm ve iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu teknoloji; şeffaflık, izlenebilirlik ve güvenlik gibi kritik alanlarda önemli avantajlar sunarak, tedarik zincirlerinin daha etkin, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlar. Blockchain, tedarik zincirindeki her aşamada gerçekleşen işlemlerin merkeziyetsiz bir yapı içinde kaydedilmesini ve izlenmesini mümkün kılarak, veri bütünlüğünü ve sistem güvenilirliğini artırır.

Ayrıca, blockchain teknolojisi işbirliğini ve bilgi paylaşımını güçlendirerek tüm paydaşlar arasında güvenli ve şeffaf bir iletişim ortamı yaratır. Örneğin, bir üretici, tedarikçisinden temin ettiği hammaddenin kaynağını ve kalitesini blockchain aracılığıyla doğrulayabilir. Bu durum, üretim süreçlerinde yaşanabilecek hataların ve gecikmelerin önüne geçilmesini sağlar. Akıllı sözleşmelerin entegrasyonu sayesinde ise belirli koşullar gerçekleştiğinde işlemler otomatik olarak yürütülmekte, böylece manuel müdahaleye olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Bu hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlarken, hata oranlarının da azalmasına katkıda bulunur.

Blockchain teknolojisi, özellikle uluslararası tedarik zinciri yönetiminde devrim niteliğinde yeniliklere öncülük etmektedir. Sağladığı şeffaflık, veri güvenliği ve izlenebilirlik özellikleri sayesinde, tedarik zincirlerinde güven inşa edilmesini ve operasyonların daha verimli yürütülmesini mümkün kılar. Aynı zamanda işlem sürelerinin kısalması ve araçlara olan ihtiyacın azalması, maliyetlerin düşmesine ve işletmelerin rekabet gücünün artmasına katkı sağlar.

Gelecek perspektifinde, blockchain teknolojisinin tedarik zinciri yönetimindeki rolünün daha da önem kazanacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, teknolojinin yapay zekâ ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi diğer dijital teknolojilerle entegre edilmesi, daha akıllı ve otomatik tedarik zinciri sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Öte yandan, blockchain'in sunduğu avantajlar yalnızca büyük ölçekli işletmelerle sınırlı değildir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) de bu teknolojiyi benimseyerek, küresel pazarda daha rekabetçi bir konuma ulaşabilir ve daha şeffaf, güvenilir tedarik zincirleri oluşturabilir. Dolayısıyla, işletmelerin blockchain teknolojisine yatırım yapmaları ve bu teknolojiyi iş süreçlerine stratejik bir şekilde entegre etmeleri büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, blockchain teknolojisi; verimlilik, sürdürülebilirlik ve güvenilirlik gibi temel hedeflerin gerçekleştirilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle, işletmelerin söz konusu teknolojinin sunduğu olanakları iyi analiz etmeleri, bu alanla ilgili stratejiler geliştirmeleri ve dijital dönüşüm süreçlerini bu doğrultuda yapılandırmaları gerekmektedir.

Kaynakça

- Abadi, J., & Brunnermeier, M. K. (2018). Blockchain economics. Princeton University Press.
- Acar, A. (2024). Tedarik zinciri yönetiminde dijital dönüşüm. Beta Yayıncılık.
- Ali, M., Vecchio, M., Pincheira, M., Dolui, K., Antonelli, F., & Rehmani, M. H. (2020). Applications of blockchain in ensuring the security and privacy of IoT: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 9530–9552. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2988453>
- Asset Hodler. (2024). Using blockchain for supply chain transparency. <https://assethodler.com>
- Avunduk, S., & Aşan, A. (2018). Blokzincir teknolojisi ve lojistik sektörü üzerine etkileri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(33), 1–16.
- Balcıoğlu, H., Şahin, A., & Demir, Y. (2024). Blockchain teknolojisinin tedarik zincirlerinde uygulanması. *Uluslararası Lojistik ve Ticaret Dergisi*, 6(2), 45–60.
- Bayramoğlu, E. (2020). Blokzincir teknolojisinin tedarik zinciri süreçlerine etkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 18(4), 33–49.
- Buterin, V. (2013). Ethereum white paper: A next-generation smart contract and decentralized application platform. <https://ethereum.org>
- Caldarelli, G., & Ellul, J. (2021). The emergence of blockchain technology: A review. *Journal of Business Research*, 124, 557–569. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.11.045>
- Carrefour. (2021). Blockchain technology and food traceability. <https://carrefour.com>
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81.
- Casino, F., Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2024). Blockchain smart contracts in logistics. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(1), 12–26.
- Carter, C. R., & Jennings, M. M. (2002). Logistics social responsibility: An integrative framework. *Journal of Business Logistics*, 23(1), 145–180.
- Cheng, S., & Huang, J. (2019). Blockchain application in supply chains: A review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 211, 221–234.
- Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management (5th ed.). Pearson Education.
- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2022). Blockchain applications in supply chain management: A comprehensive review. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107400.
- Deloitte. (2020). New tech on the block: Blockchain survey 2020. <https://www2.deloitte.com>

- Dock. (2024). Verifiable credentials and blockchain in supply chains. <https://dock.io>
- Food Safety. (2024). How blockchain is transforming food traceability. <https://foodsafety.gov>
- Frohlich, M. T., & Westbrook, R. (2001). Arcs of integration: An international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*, 19(2), 185–200.
- Gunasekaran, A., Yusuf, Y. Y., Adeleye, E. O., & Papadopoulos, T. (2017). Agile manufacturing practices: The role of big data and business analytics with multiple case studies. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 385–397.
- Gurtu, A. (2019). Blockchain applications in supply chain. *Journal of Information & Knowledge Management*, 18(04), 1950047.
- Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2), 99–111.
- İşgör, S. (2019). Kripto paraların gelişimi ve blokzincir teknolojisi üzerine bir değerlendirme. *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 123–145.
- Jabbar, R., Zaza, C., & Atieh, A. M. (2020). Blockchain adoption challenges in supply chain. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(3), 147–154.
- Janssen, M. (2019). Blockchain as a disruptive enabler for transparency. *Government Information Quarterly*, 36(1), 1–9.
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2024). The rise of blockchain in agri-food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 35–47.
- Khan, A. H., Alshamsi, A., Salah, K., & Rehman, M. H. U. (2021). Smart contracts: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 176, 102925.
- Kim, H. M. (2020). Blockchain for supply chain transparency: Literature review and future research. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(3), 81.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89.
- Kshetri, N. (2024). Blockchain in logistics and supply chains: Recent developments. *Logistics*, 8(1), 1–18.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65–83.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (2007). The bullwhip effect in supply chains. *MIT Sloan Management Review*, 38(3), 93–102.

- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.
- Morales-Alarcón, G., Pérez-Macías, N. A., & Vidal-García, J. (2024). The role of blockchain in transparency and data protection. *Information Systems Frontiers*, 26, 215–234.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nakamoto, S. (2009). Genesis block of Bitcoin blockchain. Retrieved from <https://blockchain.info>
- Nakamoto, S. (2024). Blockchain use cases in global trade. *Journal of Blockchain Research*, 11(2), 133–150.
- Özyürek, B. (2021). Blokzincir teknolojisinin geleceği ve sektörlere etkisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(3), 24–39.
- Sayın, A. (2024). Dijital tedarik zinciri uygulamaları ve etkileri. *Tedarik Zinciri Dergisi*, 10(1), 88–103.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710.
- Sekerci, S. (2024). Talep tahmini ve üretim planlamasında yapay zekâ kullanımı. *Endüstri 4.0 ve Dijitalleşme Dergisi*, 5(1), 11–29.
- Sharabati, A. A. A., & Jreisat, L. E. (2024). Blockchain integration challenges in supply chains. *Supply Chain Management Review*, 22(1), 32–49.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2023). *Designing and managing the supply chain* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O'Reilly Media.
- Taherdoost, H. (2023). Introduction to smart contracts and applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(2), 77–89.
- Tang, C. S. (2006). Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. *International Journal of Logistics*, 9(1), 33–45.
- Thind, I. (2020). Smart contracts: A blockchain innovation. *Technology Innovation Management Review*, 10(6), 29–39.
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 1–6.

- Tian, F., & Yan, J. (2024). Blockchain in supply chain transparency: Opportunities and challenges. *Operations Research Perspectives*, 11, 100211.
- Toyoda, K., Mathiopoulou, P. T., Sasase, I., & Ohtsuki, T. (2017). A novel blockchain-based product ownership management system (POMS) for anti-counterfeits in the post supply chain. *IEEE Access*, 5, 17465–17477.
- Treiblmaier, H. (2023). Blockchain and supply chain management: A comprehensive framework. *Journal of Supply Chain Management*, 59(1), 45–60.
- Tunaboğlu, C., & Birinci, M. (2022). Blokzincir teknolojisi ile güvenli veri paylaşımı. *Veri Bilimi ve Mühendisliği Dergisi*, 4(2), 33–49.
- Viriyasitavat, W., Hoonsopon, D., & Rassameethes, B. (2019). Blockchain characteristics and consensus in modern business processes. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, 1–8.
- Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 62–84.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2020). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110.
- Wood, G. (2015). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- Yermekbayev, M., Abdirakhmanova, G., & Tleubayeva, A. (2021). Challenges of implementing blockchain technology in logistics. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(3), 651–660.
- Zhang, Y. (2025). Blockchain and AI integration: A future outlook. *Emerging Technologies Journal*, 9(1), 55–74.
- Zyskind, G., Nathan, O., & Pentland, A. (2015). Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data. 2015 IEEE Security and Privacy Workshops, 180–184.