

Tedarik Zinciri Sürecinde Blockchain Teknolojisi

Hatice Aydın¹

Özet

Tedarik zinciri yönetimi, hammaddelerin tedarik edilmesinden nihai ürünlerin tüketiciye ulaşmasına kadar olan süreçleri kapsayan karmaşık bir sistemdir. Bu süreçte izlenebilirlik, şeffaflık, güvenlik ve verimlilik önemli rol oynar. Blockchain teknolojisi, bu gereksinimleri karşılamak için güçlü bir çözüm sunar. Merkeziyetsiz ve güvenli yapısı sayesinde blockchain, tedarik zinciri süreçlerinde veri güvenliğini sağlar, maliyetleri düşürür ve operasyonel verimliliği artırır. Bu çalışmada, tedarik zincirinde blockchain teknolojinin kullanımı, sağlayabileceği avantajları ve gerçek dünya uygulamaları ele alınacaktır.

GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi, hammaddelerin tedarik edilmesinden nihai ürünlerin tüketiciye ulaşmasına kadar olan süreçleri kapsayan karmaşık ve çok aşamalı bir sistemdir. Bu süreçte izlenebilirlik, şeffaflık, güvenlik ve verimlilik gibi faktörler kritik öneme sahiptir (Kshetri, 2018). Geleneksel tedarik zinciri sistemleri, bu gereksinimleri karşılamakta zaman zaman yetersiz kalabilmektedir ve bu durum, operasyonel aksaklıklara, yüksek maliyetlere ve güvenlik açıklarına yol açabilmektedir (Tian, 2016). Blockchain teknolojisi, merkeziyetsiz yapısı ve yüksek güvenlik özellikleri ile tedarik zinciri süreçlerinde devrim yaratma potansiyeline sahiptir (Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldú, 2019).

Blockchain, dağıtık defter teknolojisi (DLT) olarak bilinen bir yapıya dayanır ve bu teknoloji, veri bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak için kriptografik yöntemler kullanır (Nakamoto, 2008). Blockchainin merkeziyetsiz yapısı, verilerin merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan

1 Yüksek Lisans Öğrencisi, Selçuk Üniversitesi, Uluslararası Ticaret,
ORCID ID: 0009-0004-1098-2180

güvenli bir şekilde saklanması ve doğrulanmasını sağlar. Bu özellik, tedarik zinciri süreçlerinde veri manipülasyonunu ve sahteciliği önlemeye yardımcı olabilir (Casino vd., 2019).

Tedarik zincirinde blockchain teknolojisinin kullanımı, izlenebilirlik ve şeffaflık gibi kritik alanlarda önemli iyileştirmeler sağlayabilir. Örneğin, ürünlerin kaynaklarından nihai tüketiciye kadar izlenebilmesi, gıda güvenliği ve kalite kontrolü gibi alanlarda büyük avantajlar sunar (Hyperledger, 2019). Ayrıca, Blockchain'in sunduğu güvenlik ve veri bütünlüğü, tedarik zinciri boyunca veri manipülasyonunu ve sahteciliği önlemeye yardımcı olabilir (IBM, 2018).

Bu çalışma, tedarik zincirinde blockchain teknolojisinin nasıl kullanılabileceğini, bu kullanımın sağlayabileceği avantajları ve çeşitli sektörlerden uygulamaları ele alacaktır. İlk olarak, blockchain teknolojisinin temelleri ve tedarik zincirinin temel kavramları hakkında bilgi verilecek, ardından blockchainin tedarik zinciri süreçlerinde nasıl uygulandığı ve sağladığı faydalar incelenecektir. Son olarak, farklı sektörlerden uygulama örnekleri ve blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde gelecekteki potansiyeli tartışılacaktır.

1. BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİNİN TEMELLERİ

1.1. Blockchain Tanımı

Blockchain, dijital bilgilerin (bloklar) merkezi olmayan bir ağda (zincir) depolanmasını ve paylaşılmasını sağlayan bir teknolojidir. Bir blockchain, kriptografi kullanılarak verilerin değiştirilmesine engellemek için birbirine bağlı, büyüyen kayıt listesine sahip bloklardan oluşur. (Rajasekaran, Azees, & Al-Turjman, 2022).

İlk kez 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" adlı makalesinde Bitcoin'in temeli oluşturmak amacıyla tanıtılmıştır (Nakamoto, 2008, Di Pierro, 2017). Bitcoin'in arkasındaki mekanizma Açık anahtar altyapısı (PKI) kullanımıdır. PKI'da kullanıcıların özel anahtarı ve çift açık anahtarı vardır. Özel anahtar, kullanıcının kimlik doğrulaması içindir ve çift açık anahtar kullanıcının Bitcoin cüzdanının adresinde kullanılır. Gönderenin açık anahtarından, alıcının birden fazla açık anahtarından ve aktarılan değerden Bitcoin işlemi oluşur. İşlem yaklaşık on dakika içinde bir bloğa yazılır. Bu daha sonra, daha önce yayınlanan diğer bir bloğa bağlanır. Tüm işlemler düğüm adı verilen kullanıcıların disk depolama alanında saklanır. Bitcoin önce depolar sonra her yeni işlemin doğruluğunu kontrol eder. Bu yönetime madencilik denilmekte

ve blockchain teknolojisinin temel kavramlarından biri olan Proof-of-Work ile doğrulanmaktadır. Tüm bu işlemler başarıyla doğrulandığında, düğümler arasında bir fikir bütünlüğü oluşur. Yeni bloklar önceki bloklara bağlanır ve tüm bloklar tek bir sürekli zincirde hizalanır. İşte bu blok zinciri, Bitcoin'in genel muhasebe tekniği olan Blockchain' dir (Yli-Huumo vd., 2016).

Blockchain teknolojisi, tüm kripto para birimlerinin temelini oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda daha geleneksel finans sektöründe de kullanılabilir. Ek olarak, akıllı sözleşmeler gibi yeni uygulamaların gelişmesine katkıda bulunur (Di Pierro, 2017).

Blockchain, bir veri tabanında tutulan işlemleri kaydeder ve bu kayıtlar, tüm kullanıcılar tarafından doğrulanabilir ve izlenebilir. Bu yapı, veri bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamada devrim yaratmıştır.

1.2. Blok ve Zincir Yapısı

Blockchain, adından da anlaşılacağı gibi, bloklar halinde organize edilmiş verilerin zincirlenmiş yapısıdır. Blockchain kavramından önce blockchainin anahtar elemanlarının incelenmesi gerekmektedir. Öncelikle blockchainin temelini olan SHA256 hash olarak adlandırılan yapının ne olduğu bilinmelidir. Hash, rastgele harf ve karakterlerden oluşan bir dizi, başka bir ifadeyle hash, dijital bir verinin parmak izi olarak tanımlanabilir (Horasan vd., 2021).

Blockchaindeki her blok, bir dizi işlem kaydı içerir ve bu işlemler, kriptografik olarak güvence altına alınır. Her blok, kendinden önceki bloğun kriptografik hash'ini içerir, bu da zincirin kırılmasını neredeyse imkânsız hale getirir (Nakamoto, 2008). Bloklar, belirli bir süre zarfında doğrulanan ve ardından zincire eklenen işlemlerden oluşur. Bu yapı, işlemlerin geçmişini silinemez ve değiştirilemez kılar.

Blok Yapısına Hash Uygulama ve Blokları Geçerli Hale Getirme

Blok Yapısı ve Hash Uygulaması:

- Bloklar, verileri ve bu verilerin hash'lerini içeren dört ana alandan oluşur: Blok numarası, nonce, veri ve hash.
- Hash, bloktaki tüm verilerin bir dizisidir ve "0000" ile başlamalıdır. Bu, bloğun geçerli ve imzalanmış olduğunu gösterir.
- Bloкта herhangi bir veri değiştiğinde hash dizisi de değişir, bu da bloğu geçersiz kılar.

Nonce ve Madencilik:

- “Nonce” alanı, hash dizisinin “0000” ile başlamasını sağlamak için kullanılan bir sayıdır.
- Doğru nonce’u bulmak için birçok deneme yapılır ve bu işlem madencilik (mining) olarak adlandırılır.
- Madencilik işlemiyle, geçerli bir hash dizisi oluşturulur.

Blok Zinciri (Blockchain):

- Bloklar, bir önceki bloğun hash’ini içeren bir “prev” alanı ile birbirine bağlanır.
- İlk blok, tüm sıfırlardan oluşan bir önceki alan ile başlar.
- Zincirdeki herhangi bir blokta yapılan değişiklik, o bloktan sonraki tüm blokları geçersiz hale getirir.

Dağıtık Sistem ve Blokların Geçerliliği:

- Blok zincirinin kopyası birçok bilgisayarda tutulur. Bir bilgisayarda yapılan değişiklikler, diğer kopyalarla karşılaştırılarak geçersiz hale getirilebilir.
- Çoğunluğun kabul ettiği zincir geçerli sayılır.

Token ve İşlemler:

- Blok zincirinde yapılan işlemlere token denir. Örneğin, bir kişinin başka bir kişiye para göndermesi gibi.
- Bir blokta yapılan herhangi bir değişiklik, o bloktaki ve sonrasındaki tüm blokların hash dizisini bozar.

Coinbase İşlemleri:

- Coinbase, blok zincirindeki işlemleri bir banka hesabı gibi takip eder.

Bir kişinin hesabındaki para miktarını gösterir ve yapılan işlemler bu miktara göre doğrulanır (Horasan vd.,2021).

1.3. Merkeziyetsiz Yapı

Blockchain’in en önemli özelliklerinden biri merkeziyetsiz yapısıdır. Geleneksel merkezi veri tabanlarının aksine, blockchain ağı, birçok düğümün (node) katılımıyla çalışır. Her düğüm, tüm blok zincirinin bir kopyasını tutar ve ağın güvenliği ve bütünlüğü, bu düğümler arasındaki konsensüs mekanizması ile sağlanır (Buterin, 2013). Bu merkeziyetsizlik, tek bir arıza noktasını ortadan kaldırır ve ağın daha güvenli ve dirençli olmasını sağlar.

1.4. Kriptografi ve Güvenlik

Blockchain, kriptografi kullanılarak güvence altına alınır. Blokların içindeki veriler, SHA-256² gibi kriptografik hash fonksiyonları kullanılarak şifrenir (Paar & Pelzl, 2010). Her blok, bir önceki bloğun hash'ini içerdiği için, herhangi bir bloğun değiştirilmesi, tüm sonraki blokların yeniden hesaplanmasını gerektirir. Bu da blockchain ağında yapılacak herhangi bir kötü niyetli müdahaleyi neredeyse imkânsız hale getirir. Ayrıca, dijital imzalar ve halka açık/özel anahtarlar, kullanıcıların kimliklerini doğrulamak ve işlemleri güvence altına almak için kullanılır.

1.5. Blok Zincir Teknolojisinin Faydaları

Blok zincir teknolojisinin birçok faydası vardır. Bu faydalardan bazıları; (Durgay ve Karaarslan, 2018):

- **Güvenlik:** Kayıtların değiştirilememesi, verilerin çoklu düğümlerle doğrulanması ve tüm tarafların uzlaşması sayesinde yüksek güvenlik sağlar.
- **Kolay Erişim:** Ağdaki tüm tarafların bilgiye erişimi hızlı ve kolaydır.
- **Merkezi Olmayan Yapı:** Bilgiler merkezi olmayan, dağıtık defterlerde saklandığı için kötü niyetli işlemlerin fark edilmeden yapılması mümkün değildir.
- **Anonimlik:** Kullanıcılar, şifreleme anahtarları aracılığıyla anonim kalabilirler.
- **Otomatik İşlemler:** İşlemler ve kontroller otomatik olarak yapıldığı için insan hataları azalır.
- **Düşük Maliyet:** Merkezi bir otorite veya kuruma ihtiyaç olmadığı için işlemleri gerçekleştirme veya doğrulama maliyeti düşürülebilir.
- **Şeffaflık:** Kullanıcılar, zincir içinde gerçekleşen tüm işlemleri eş zamanlı olarak görebilirler.
- **Veri Doğruluğu:** Sistemde yer alan bilgiler her seferinde oy birliği ile kaydedildiğinden veri doğruluğu ve kalitesi yüksektir.

Bu avantajlar, blok zincir teknolojisinin birçok alanda güvenilir ve verimli bir çözüm olmasını sağlamaktadır.

2 SHA-256, Secure Hash Algorithm 256-bit'in kısaltmasıdır ve kriptografik hash fonksiyonları ailesine ait bir algoritmadır. SHA-256, SHA-2 (Secure Hash Algorithm 2) ailesinin bir üyesidir ve 256-bit uzunluğunda (32 byte) sabit boyutlu bir hash değeri üretir. Bu algoritma, ABD Ulusal Güvenlik Ajansı (NSA) tarafından tasarlanmış ve Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından standartlaştırılmıştır.

1.6. Blockchainin Kullanım Alanları

Blok zincir teknolojisinin en popüler uygulaması Bitcoin'dir. Ancak günümüzde hem finansal hem de finansal olmayan birçok alanda geniş uygulama alanları bulunmaktadır (Bakan, & Şekkeli, 2019). Bu alanlardan bazıları;

Finansal Uygulamalar:

- Uluslararası para transferleri ve ticaretin finansmanı
- Ödeme işlemleri, para transferleri, alış/satış platformları
- Sigorta, takas yönetimi, yetkilendirme, doğrulama, dijital kimlik ve doküman yönetimi (Ünsal ve Kocaoğlu, 2018).

Akıllı Mülkiyet:

- Maddi ve maddi olmayan varlıkların kayıt altına alınması
- İlgili varlıklara sahip olma izni verilen kişilerin bilgileri defterde saklanır
- Dolandırıcılık ve şaibeli faaliyetlerin riskini azaltır.

Nesnelerin İnterneti:

- Sensör temelli bilgi ile insan temelli bilginin entegre edilmesi
- Etkileşim süreçlerinin güvenli biçimde gerçekleştirilmesi (Bakan ve Şekkeli, 2017).

Akıllı Sözleşmeler:

- Akıllı varlıkların alımı, satımı, transferi, ödünç verilmesi gibi işlemler
- Sözleşmelerin güvenli ve otomatik olarak gerçekleştirilmesi.

Devlet İşlerinde:

- Oylama, doküman yönetimi, dijital kimlik, sosyal güvenlik ve vergi sistemleri
- Dubai, İsviçre, İngiltere, Estonya, Singapur, Kıbrıs gibi ülkelerde kamusal blok zinciri yatırımları (Ünsal ve Kocaoğlu, 2018).

Diğer Uygulamalar:

- Sağlık kayıtlarının güvenli tutulması ve ilaç denetimi
- Müzik haklarının merkezi ve şeffaf veri tabanında tutulması
- Enerji sektöründe güneş panellerinin enerji yönetimi

- Tarımsal uygulamalarda süreçlerin izlenmesi ve onaylanması
- Tedarik zincirinde ürünlerin lojistik süreçlerinin izlenmesi (Kırbaç, 2018)

Blok zincir teknolojisi, çeşitli sektörlerde güvenlik, şeffaflık ve verimlilik sağlayarak geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

2. TEDARİK ZİNCİRİNİN TEMEL KAVRAMLARI

2.1. Tedarik Zinciri Kavramı

Tedarik zinciri, hammaddelerin tedarik edilmesinden nihai ürünün tüketiciye ulaştırılmasına kadar olan süreçlerin bütünüdür. Bu süreçler, malzemelerin satın alınması, üretim, envanter yönetimi, dağıtım ve teslimat gibi çeşitli aşamaları içerir (Mentzer vd., 2001). Tedarik zinciri, hem ürünlerin fiziksel hareketini hem de bu süreçlerle ilgili bilgi akışını kapsar.

2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi, tedarik zincirindeki tüm faaliyetlerin koordinasyonunu ve entegrasyonunu sağlama sürecidir. Tedarik zinciri yönetiminin amacı, müşteri ihtiyaçlarını en verimli ve etkili şekilde karşılamak için tedarik zincirinin her aşamasını optimize etmektir (Christopher, 2016). Bu, maliyetleri düşürmek, teslimat sürelerini kısaltmak ve müşteri memnuniyetini artırmak gibi hedefleri içerir. Tedarik zinciri yönetimi, stratejik planlama, talep tahmini, tedarikçi ilişkileri yönetimi ve lojistik gibi çeşitli fonksiyonları kapsamaktadır.

2.3. Tedarik Zinciri Süreçleri

Tedarik zincirinin başarılı bir şekilde yönetilmesi için, çeşitli süreçlerin etkin bir şekilde planlanması ve yürütülmesi gerekir. Bu süreçler şu şekildedir (Lambert & Cooper, 2000):

1. **Talep Yönetimi:** Müşteri talebinin doğru tahmin edilmesi ve bu talebe göre üretim planlaması yapılması.
2. **Tedarik Yönetimi:** Gerekli hammaddelerin ve bileşenlerin tedarik edilmesi.
3. **Üretim Yönetimi:** Ürünlerin zamanında ve kaliteli bir şekilde üretilmesi.
4. **Envanter Yönetimi:** Envanter seviyelerinin optimize edilmesi ve stok maliyetlerinin düşürülmesi.

5. **Dağıtım ve Lojistik:** Ürünlerin depolanması, taşınması ve nihai tüketiciye ulaştırılması.

2.4. Tedarik Zincirinde Karşılaşılan Sorunlar

Tedarik zinciri yönetimi, çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu zorluklar, tedarik zincirinin karmaşıklığından, belirsizliklerden ve dışsal faktörlerden kaynaklanabilir (Chopra & Meindl, 2016). Başlıca sorunlar şunlardır:

1. **Talep Tahminindeki Hatalar:** Yanlış talep tahminleri, aşırı envanter veya stok sıkıntısı gibi sorunlara yol açabilir.
2. **Tedarikçi Performansı:** Tedarikçilerin güvenilir olmaması, gecikmelere ve kalitesiz ürünlere neden olabilir.
3. **Lojistik ve Taşıma:** Ulaşım maliyetleri, gümrük prosedürleri ve lojistik ağı etkinliği gibi faktörler tedarik zincirini etkileyebilir.
4. **Doğal Afetler ve Acil Durumlar:** Doğal afetler, salgınlar veya siyasi istikrarsızlık gibi dışsal faktörler tedarik zincirini kesintiye uğratabilir.

3. BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİNİN TEDARİK ZİNCİRİNDE KULLANIMI

3.1. İzlenebilirlik ve Şeffaflık

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde kullanılması, ürünlerin kaynağından nihai tüketiciye kadar izlenebilirliğini ve şeffaflığını büyük ölçüde artırır. Her işlem blok zincirine kaydedilir ve bu kayıtlar değiştirilemez ve silinemez olduğundan, ürünlerin geçmişi kolayca doğrulanabilir (Tian, 2016). Bu durum, sahte ürünlerin tespiti ve önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Örneğin, gıda tedarik zincirinde blockchain kullanılarak ürünlerin üretim, işleme ve dağıtım aşamaları ayrıntılı bir şekilde izlenebilmektedir (Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldú, 2019).

3.2. Güvenlik ve Veri Bütünlüğü

Blockchain, tedarik zincirindeki veri güvenliğini ve bütünlüğünü sağlamak için güçlü bir araçtır. Blok zincirine eklenen her bilgi, kriptografik olarak imzalanır ve bu bilgiye yalnızca yetkili kullanıcılar erişebilir (Christidis & Devetsikiotis, 2016). Bu durum, veri manipülasyonunu ve yetkisiz erişimi önler. Ayrıca, merkezi olmayan yapı sayesinde, tek bir başarısızlık noktası bulunmaz ve ağın güvenliği artırılır. Örneğin, farmasötik tedarik zincirinde

blockchain kullanılarak ilaçların güvenliği ve sahteciliğin önlenmesi sağlanabilir (Mackey & Nayyar, 2017).

3.3. Maliyet ve Verimlilik

Blockchain teknolojisi, tedarik zincirinde maliyetleri düşürme ve operasyonel verimliliği artırma potansiyeline sahiptir. Akıllı sözleşmeler (smart contracts), manuel süreçleri otomatikleştirir ve işlemlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar (Catalini & Gans, 2016). Bu, özellikle faturalama, ödeme ve envanter yönetimi gibi süreçlerde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Örneğin, Maersk ve IBM tarafından geliştirilen TradeLens platformu, küresel ticaret işlemlerini hızlandırmak ve maliyetleri azaltmak için blockchain teknolojisini kullanmaktadır (Hackius & Petersen, 2017).

3.4. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmeler, blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde kullanımının önemli bir parçasıdır. Bu sözleşmeler, belirli koşulların karşılanması durumunda otomatik olarak yürürlüğe girer ve işlemlerin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar (Szabo, 1997). Akıllı sözleşmeler, tedarik zincirindeki taraflar arasında güveni artırır ve anlaşmazlıkları en aza indirir. Örneğin, tarım ürünlerinin tedarik zincirinde, hasat ve teslimat süreçleri akıllı sözleşmelerle yönetilerek çiftçilerin ve alıcıların hakları korunabilir (Zheng vd., 2018).

4. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

4.1. Wal-Mart ve Gıda Güvenliği

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde kullanımına yönelik en dikkat çekici örneklerden biri, Wal-Mart'ın gıda güvenliği uygulamalarıdır. Wal-Mart, IBM ile iş birliği yaparak, tedarik zincirinde blockchain teknolojisini kullanarak gıdaların kaynağını izlemeyi amaçlamıştır (Kamath, 2018). Bu sistem, gıdaların üretimden tüketime kadar olan tüm aşamalarını kaydeder ve bu sayede herhangi bir ürünün kaynağı, geçirdiği işlemler ve mevcut durumu saniyeler içinde doğrulanabilir hale gelir. Bu uygulama, gıda güvenliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda gıda kaynaklı hastalıkların hızla izlenmesini ve kontrol altına alınmasını sağlar (Kamath, 2018).

4.2. Maersk ve Lojistik

Küresel taşımacılık devi Maersk, lojistik ve nakliye süreçlerini optimize etmek için blockchain teknolojisini benimseyen bir diğer örnektir. Maersk

ve IBM tarafından geliştirilen TradeLens platformu, deniz taşımacılığındaki verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla blockchain teknolojisini kullanmaktadır (Hofmann & Rüsçh, 2017). TradeLens, nakliye işlemlerini ve belgelerini merkezi olmayan bir sistemde kaydederek, tüm tedarik zinciri boyunca şeffaflık sağlar. Bu sistem, gümrük işlemlerini hızlandırır, evrak işlerini azaltır ve lojistik süreçlerindeki gecikmeleri minimize eder (Hofmann & Rüsçh, 2017).

4.3. Diğer Sektör Uygulamaları

Blockchain teknolojisi, gıda ve lojistik dışında birçok sektörde de kullanılmaktadır. Örneğin, farmasötik endüstrisi, ilaçların sahteciliğini önlemek ve tedarik zincirinin güvenliğini sağlamak için blockchain teknolojisini kullanmaktadır. Bu teknoloji, ilaçların üretimden son kullanıcıya kadar olan tüm süreçlerini izleyerek sahte ürünlerin tespit edilmesini sağlar (Mackey & Nayyar, 2017). Ayrıca, tarım sektöründe blockchain kullanılarak tarım ürünlerinin izlenebilirliği artırılmakta ve bu sayede ürünlerin kalitesi ve güvenliği sağlanmaktadır (Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldú, 2019).

5. KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

5.1. Ölçeklenebilirlik

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde geniş çapta kullanılması için ölçeklenebilirlik önemli bir zorluktur. Blockchain ağlarının veri işleme kapasitesi, tedarik zinciri süreçlerinin hızına ve hacmine ayak uydurmakta zorlanabilir. Bu durum, işlem sürelerinin uzamasına ve maliyetlerin artmasına neden olabilir (Zheng vd., 2018).

5.2. Enerji Tüketimi

Blockchain teknolojisi, özellikle iş ispatı (proof-of-work) konsensüs mekanizması kullanan ağlarda yüksek enerji tüketimi ile ilişkilidir. Bu durum, sürdürülebilirlik hedefleri açısından olumsuz bir etki yaratabilir ve tedarik zinciri yönetiminde enerji verimliliği konusunda ek zorluklar doğurabilir (Truby, 2018).

5.3. Yasal ve Düzenleyici Engeller

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde kullanılması, çeşitli yasal ve düzenleyici engellerle karşılaşabilir. Farklı ülkelerdeki yasal düzenlemeler, blockchain tabanlı çözümlerin benimsenmesini ve uygulanmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle, hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, blockchain

teknolojisinin düzenlenmesi ve standartlarının belirlenmesi konusunda iş birliği yapılmalıdır (Kshetri, 2018).

6. TEDARİK ZİNCİRİNDE BLOCKCHAIN'İN GELECEĞİ

6.1. Gelecek Trendler ve Yenilikler

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirindeki geleceği, çeşitli trendler ve yeniliklerle şekillenmektedir. Özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) ile entegrasyonu, tedarik zinciri yönetiminde büyük bir devrim yaratabilir. IoT cihazları, tedarik zinciri boyunca veri toplamak ve bu verileri blockchain ağında güvenli bir şekilde depolamak için kullanılabilir (Dujak & Sajter, 2019). Bu, daha doğru ve gerçek zamanlı veri analizi sağlayarak, tedarik zinciri süreçlerinin daha etkili yönetilmesine olanak tanır. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi teknolojileri ile blockchainin birleşimi, tedarik zinciri optimizasyonunda önemli rol oynayabilir (Saberi vd., 2019).

6.2. Blockchain'in Yaygınlaşması

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde yaygınlaşması, çeşitli sektörlerdeki şirketlerin bu teknolojiyi benimsemesiyle hızlanmaktadır. Büyük şirketler ve start-up'lar, blockchain tabanlı çözümler geliştirerek tedarik zinciri süreçlerini optimize etmektedir. Örneğin, IBM ve Maersk'in TradeLens platformu, küresel ticaretin verimliliğini artırmak için blockchain teknolojisini kullanmaktadır (Hofmann & Rüşch, 2017). Ayrıca, hükümetler ve uluslararası organizasyonlar da blockchainin tedarik zincirlerinde kullanımını teşvik eden düzenlemeler ve standartlar geliştirmektedir (Kshetri, 2018).

6.3. Araştırma ve Geliştirme

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde daha geniş çapta benimsenmesi için araştırma ve geliştirme faaliyetleri kritik öneme sahiptir. Akademik araştırmalar ve endüstri iş birliği, Blockchain'in tedarik zincirine entegrasyonunu kolaylaştıracak yeni çözümler ve uygulamalar geliştirmektedir. Özellikle ölçeklenebilirlik, enerji verimliliği ve güvenlik konularında yapılan çalışmalar, blockchainin tedarik zincirindeki etkisini artırmaktadır (Zheng vd., 2018). Ayrıca, tedarik zincirinin farklı aşamalarında blockchain kullanımının potansiyel faydaları ve zorlukları üzerine yapılan araştırmalar, bu teknolojinin gelecekteki yönelimlerini belirlemeye yardımcı olmaktadır.

SONUÇ

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır. Temel olarak, blockchain, verilerin güvenli, şeffaf ve değiştirilemez bir şekilde kaydedilmesini sağlar. Bu özellikler, tedarik zincirinin izlenebilirliğini artırarak sahtecilik, hile ve veri manipülasyonunu önler (Tian, 2016). Örnek olarak, Wal-Mart ve Maersk gibi büyük şirketler, blockchain teknolojisini kullanarak tedarik zincirinde verimliliği ve güvenliği artırmıştır (Kamath, 2018; Hofmann & Rüsç, 2017). Bu teknoloji, aynı zamanda maliyetlerin düşürülmesi ve süreçlerin hızlandırılması gibi operasyonel avantajlar da sunmaktadır (Catalini & Gans, 2016).

Öneriler

Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde daha geniş bir şekilde benimsenmesi için bazı stratejik adımlar atılmalıdır:

1. **Eğitim ve Farkındalık:** Şirketlerin, blockchain teknolojisinin potansiyel faydalarını ve uygulama alanlarını anlamaları için eğitim programları düzenlemeleri gerekmektedir. Ayrıca, blockchainin tedarik zincirindeki rolü ve avantajları konusunda farkındalık yaratılmalıdır (Kshetri, 2018).
2. **Pilot Projeler:** Şirketler, blockchain teknolojisini denemek için pilot projeler başlatmalı ve bu projelerin sonuçlarını analiz etmelidir. Pilot projeler, blockchainin pratikteki etkilerini görmek ve potansiyel zorlukları belirlemek için önemli bir fırsattır (Saberi vd., 2019).
3. **Ortaklık ve İş Birliği:** Blockchain uygulamalarının başarısı için tedarik zincirindeki tüm paydaşların iş birliği yapması gerekmektedir. Şirketler, teknoloji sağlayıcıları ve hükümetler arasında güçlü ortaklıklar kurulmalı ve bu sayede blockchain çözümlerinin entegrasyonu kolaylaştırılmalıdır (Dujak & Sajter, 2019).
4. **Araştırma ve Geliştirme:** Blockchain teknolojisinin tedarik zincirinde daha geniş çapta kullanılması için araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yatırım yapılmalıdır. Özellikle ölçeklenebilirlik, güvenlik ve enerji verimliliği konularında yapılan araştırmalar desteklenmelidir (Zheng vd., 2018).

Blockchain teknolojisi, tedarik zinciri yönetiminde birçok fırsat ve avantaj sunmaktadır. Ancak, bu teknolojinin tam potansiyeline ulaşabilmesi için çeşitli zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Eğitim, pilot projeler, iş birliği ve araştırma-geliştirme faaliyetleri, blockchainin tedarik zincirlerinde başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayacaktır. Gelecekte,

blockchainin tedarik zincirindeki rolü daha da artacak ve bu teknoloji, global tedarik zincirlerinin ve lojistiğın daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunacaktır.

Kaynakça

- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H. (2019). Blok Zincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Yönetimindeki Uygulamaları. *OPUS International Journal of Society Researches*, 11(18), 2847-2877. <https://doi.org/10.26466/opus.563240>
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H. (2017). *Lojistik yönetimi*. İstanbul: BETA yayınevi, 1.
- Buterin, V. (2013). Ethereum Whitepaper. [Online] Available at: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- 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.
- Catalini, C., & Gans, J. S. (2016). Some Simple Economics of the Blockchain. *NBER Working*, 22952.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292-2303.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson.
- Di Pierro, M. (2017). What is the blockchain?, *Computing in Science & Engineering*, 19(5), 92-95.
- Dujak, D., & Sajter, D. (2019). Blockchain Applications in Supply Chain. In *Smart Supply Network (21-46)*. Springer.
- Hackius, N., & Petersen, M. (2017). *Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat?* In Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL).
- Horasan, A., Pura, T., & Sönmez, F. (2021). Yeni Nesil Veri Güvenliği Bağlamında Dağıtık Sistemler Üzerinde Blockchain Kullanımı ve Bitcoin Uygulaması. *Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 1(2), 110-118.
- Hofmann, E., & Rüsç, M. (2017). Industry 4.0 and the Current Status as well as Future Prospects on Logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- Hyperledger. (2019). Case Study: Walmart.
- IBM. (2018). TradeLens: How IBM and Maersk are sharing blockchain to build a more efficient and secure global trade network.
- Kamath, R. (2018). Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1), 3712.
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.

- Kırbaş, İ. (2018). Blokzinciri teknolojisi ve yakın gelecekteki uygulama alanları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 75-82.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83.
- Mackey, T. K., & Nayyar, G. (2017). A Review of Existing and Emerging Digital Technologies to Combat the Global Trade in Fake Medicines. *Expert Opinion on Drug Safety*, 16(5), 587-602.
- 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.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Paar, C., & Pelzl, J. (2010). *Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners*. Springer.
- Rajasekaran, A. S., Azcees, M., & Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102039.
- Rodrigue, J. P. (2018). Efficiency and sustainability in multimodal supply chains. International Transport Forum Discussion Paper.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain Technology and Its Relationships to Sustainable Supply Chain Management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135.
- Szabo, N. (1997). The Idea of Smart Contracts. Nick Szabo's Papers and Concise Tutorials.
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and Policy Choices for Reducing the Energy Consumption of Blockchain Technologies and Digital Currencies. *Energy Research & Social Science*, 44, 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- Tian, F. (2016). An Agri-food Supply Chain Traceability System for China Based on RFID & Blockchain Technology. In 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM).
- Ünsal, E., & Kocaoğlu, Ö. (2018). Blok zinciri teknolojisi: Kullanım alanları, açık noktaları ve gelecek beklentileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 54-64.
- Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? a systematic review. *PloS one*, 11(10), e0163477.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2018). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress).