



**TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ İÇİN
BLOKZİNCİR TABANLI BİR ÇERÇEVE ÖNERİSİ**

Elif Bağnu KORKMAZ

Danışman: Doç. Dr. Burak ERKAYMAN
Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ İÇİN BLOKZİNCİR TABANLI BİR
ÇERÇEVE ÖNERİSİ**

(Proposal of A Blockchain-Based Framework for Supply Chain Traceability)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Bağı KORKMAZ

Danışman: Doç. Dr. Burak ERKAYMAN

Erzurum

Ocak, 2023



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ İÇİN BLOKZİNCİR TABANLI BİR ÇERÇEVE
ÖNERİSİ**

Doç. Dr. Burak ERKAYMAN danışmanlığında, Elif Bağnu KORKMAZ tarafından hazırlanan bu çalışma, 31/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy-
çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.**

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Muhammed Emre KESKİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Doç. Dr. Burak ERKAYMAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doktor Öğretim Üyesi Nadide ÇAĞLAYAN <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Doç. Dr. Burak ERKAYMAN* danışmanlığında sunulan “Tedarik Zinciri İzlenebilirliği için Blokzincir Tabanlı Bir Çerçeve Önerisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	1	30
Kuramsal Temeller	1	30
Materyal ve Metot	2	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	0	20
Sonuçlar	0	20
Tezin Geneli	5	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Elif Bağnu KORKMAZ	Doç. Dr. Burak ERKAYMAN
30.1.2023	30.1.2023

İmza: Aslı Islak İmzalıdır

İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimde bana rehberlik eden, akademik çalışmalarında tecrübesi, bilgisi ve fikirleriyle desteğini eksik etmeyen danışmanım, Doç. Dr. Burak ERKAYMAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatım ve bilhassa tez sürecim boyunca desteğini esirgemeyen, bana güvenerek moral ve güç veren sevgili dayım Doç. Dr. Mehmet Akif GÖZİTOK'a teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan, benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen, bana güvenerek moral ve güç veren annem Saadet KORKMAZ'a babam Mustafa KORKMAZ'a ve biricik kardeşim Ubeyd Taha KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Elif Bağnu KORKMAZ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ İÇİN BLOKZİNCİR TABANLI BİR ÇERÇEVE ÖNERİSİ

Elif Bağnu KORKMAZ

Danışman: Doç. Dr. Burak ERKAYMAN

Amaç: Mevcut rakı tedarik zincirindeki sahtecilik ile mücadele etmek için rakının, hammadde tedarikçisinden perakendecisine kadarki tüm sürecin verilerine şeffaflık sağlayarak rakı tedarik zinciri izlenebilirliği için kavramsal sistem mimarisi tasarlanması amaçlanmıştır.

Yöntem: Bu çalışmada, blokzincir teknolojisi olan Hyperledger Fabric çerçevesi, akıllı sözleşmeler ve QR koddan yararlanılarak rakı tedarik zinciri izlenebilirliği için mimari tasarlanmıştır.

Bulgular: Önerilen blokzincir tabanlı rakı tedarik zinciri izlenebilirlik mimarisiyle rakının menşeinin ve süreç bilgilerinin şeffaflığının ve izlenebilirliğinin sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç: Önerilen mimari, hammadeden şişeye kadar gerçekleştirilen tüm süreçler için şeffaflığın ve izlenebilirliğin sağlandığı sonucuna varılmış ve böylece rakının orijinalliği korunarak rakı sahteciliğinin olabildiğince önüne geçilebileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sahtecilik, İçki (Rakı), Tedarik Zinciri, İzlenebilirlik, Blokzincir, Akıllı Sözleşme, Hyperledger Fabric

Ocak 2023, 68 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

PROPOSAL OF A BLOCKCHAIN-BASED FRAMEWORK FOR SUPPLY CHAIN TRACEABILITY

Elif Bağnu KORKMAZ

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Burak ERKAYMAN

Purpose: In order to combat counterfeiting in the current raki supply chain, it is aimed to design a conceptual system architecture for raki supply chain traceability by providing transparency to the data of the entire process from the raw material supplier to the retailer.

Method: In this study, Hyperledger Fabric framework, which is a blockchain technology, has been designed as an architecture for raki supply chain traceability by using smart contracts and QR code.

Findings: It was concluded that with the proposed blockchain-based raki supply chain traceability architecture, the origin of the raki, the transparency and traceability of process information are ensured.

Results: It was concluded that the proposed architecture ensures transparency and traceability for all processes from raw material to bottle, and thus, it is foreseen that raki counterfeiting can be prevented as much as possible by preserving the originality of the raki.

Keywords: Counterfeiting, Raki, Supply Chain, Traceability, Blockchain, Smart contracts, Hyperledger Fabric,

January 2023, 68 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
GİRİŞ.....	1
KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
Blokzincir ve Akıllı Anlaşmaların Kullanılmadığı İzlenebilirlik Çalışmaları	5
Blokzincir ve Akıllı Anlaşmaların Kullanıldığı İzlenebilirlik Çalışmaları.....	7
MATERYAL VE YÖNTEM	14
Tedarik Zinciri	14
Blokzincir Teknolojisi.....	15
Blokzincirin gelişim süreci	16
Blokzincir yapısı	17
Blokzincir çalışma mekanizması.....	19
Blokzincir özellikleri.....	23
Merkeziyetsizlik:	23
Dağıtıklık:	23
Şeffaflık:.....	23
Değiştirilemezlik:	23
Blokzincir türleri	23
Tedarik Zinciri ve Blokzincir İlişkisi.....	27
Akıllı Sözleşmeler.....	29
Hyperledger.....	31
Hyperledger Fabric.....	32
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	38
Hyperledger Fabric Tabanlı İzlenebilirlik Mimarisi	42
SONUÇLAR.....	45
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ.....	57

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Halka Açık, Özel ve Konsorsiyum Blokzincirlerinin Karşılaştırması	26
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Geleneksel tedarik zinciri.....	15
Şekil 2. Küresel tedarik zinciri	15
Şekil 3. Blokzincirin gelişim süreci	17
Şekil 4. Blokzincir süreçlerine göre popüler uygulamalar.	17
Şekil 5. Blokzincir yapısı	18
Şekil 6. Blokta veri değiştirme	19
Şekil 7. Ağ yapıları.....	20
Şekil 8. Eşler arası ağ	21
Şekil 9. Blokzincir çalışma mekanizması	23
Şekil 10. Halka açık blokzincir yapısı.....	24
Şekil 11. Özel blokzincir yapısı	25
Şekil 12. Konsorsiyum blokzincir yapısı	26
Şekil 13. Tedarik zinciri problemleri için blokzincir çözümleri.	29
Şekil 14. Geleneksel ve akıllı sözleşmelerin işleyiş süreci	30
Şekil 15. Akıllı sözleşmelerin yapısı.....	30
Şekil 16. Akıllı sözleşme süreci	31
Şekil 17. Hyperledger Çatısı	32
Şekil 18.Üç Organizasyonlu Hyperledger Fabric Mimarisi.....	34
Şekil 19. Düğümler ve Eşler.....	35
Şekil 20. İşlem Akışı	37
Şekil 21. Rakı değer zinciri ve üretim süreci.	38
Şekil 22. Blokzincir tabanlı rakı izlenebilirlik mimarisi	39
Şekil 23. Akıllı sözleşme akış diyagramı	41
Şekil 24. İzlenebilirlik için Hyperledger Fabric Mimarisi	43
Şekil 25. Hyperledger Fabric örnek işlem akış şeması	44

KISALTMALAR DİZİNİ

BaaS	: Hizmet olarak Blokzincir
CPS	: Siber Fiziksel Sistem
DApp	: Merkezi Olmayan Uygulamalar
DGAS	: Durum Güncelleme Akıllı Sözleşmesi
HACCP	: Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları
IoT	: Nesnelerin İnterneti Teknolojisi
İHA	: İnsansız Hava Araçları
NFC	: Yakın Alan Etkileşimi
RFID	: Radyo Frekanslı Tanımlama
VKAS	: Varlık Kaydı Akıllı Sözleşmesi

GİRİŞ

Dünya Ticaret Örgütü'ne göre sahtecilik, "Alıcıyı orijinal malları satın aldığına inandırmak amacıyla, tescilli bir markanın, markanın tescil edildiği mallarla aynı veya benzer mallar üzerinde izinsiz temsili." olarak tanımlanmaktadır (World Trade Organization, 2022). Sahteciliğin temel amacı, günü geçmiş ürünleri güncel göstermek; düşük maliyetli hammaddeler ile içeriği değiştirilmiş ürünleri ve kalitesiz ürünleri orijinal marka gibi göstererek haksız gelir elde etmektir. Gıda, ilaç, lüks ürünler vb. alanlarda dünya çapında sahteciliğin uygulandığı bilinmektedir. Nitekim sahte ürün ticareti, evrensel boyutta oldukça yaygın hale gelmiş ve bu durum ekonomik, sosyal ve sağlık açısından pek çok olumsuz etkiyi de beraberinde getirmiştir (Özcan ve Çağlıyan, 2004). Ekonomik açıdan sahte ürünler, orijinal ürünlerden daha ucuz satıldığından işletmeler için satış ve gelir; hükümetler içinse vergi geliri kaybına yol açabilir. Bu da şirket ve ülke için iş kayıplarına ve ekonomik büyümede düşüşe neden olabilir. Örneğin sahte ürünlerin gıda pazarına girmesi nedeniyle pazarın her yıl 100 milyar dolar kaybettiği kaydedilmiştir (KPMG, 2020). Diğer taraftan genellikle denetimsiz ve güvenli olmayan koşullarda üretilen sahte ürünlerin markanın itibarının zarar görmesi, fikri mülkiyet haklarının baltalanması, sağlık ve güvenlik risklerinin ortaya çıkması, çevreye zarar vermesi gibi sosyal sonuçları da olabilir. Sahte ürün ticaretinin en olumsuz etkiye sahip olduğu alan şüphesiz sağlık alanıdır. Nitekim sahte ürünler, orijinal ürünlerle aynı kalite standartlarında ve aynı şartlar altında üretilmediğinden ve sağlık sorunlarına yol açabilecek zararlı içerikler içerebileceğinden tüketiciler için ciddi sağlık problemlerine neden olabilir. Örneğin sahte gıda ürünleri, kozmetik ürünleri yahut ilaçlar, doğru bileşenlerle oluşturulmadığında tüketiciler için ciddi sağlık sorunlarına hatta ölümlere bile yol açabilir (Özcan ve Çağlıyan, 2004; Karahan ve Şahin, 2020).

Sahte ürün ticareti sektörler açısından değerlendirildiğinde ise ilaç sektöründe düşük veya orta gelirli ülkelerde tüketilen ilaçların yaklaşık %10'unun sahte olduğu tespit edilmiştir (World Health Organization, 2018). Dünya Sağlık Örgütü, sahte veya düşük standartlı ilaçlara bağlı ölümlerin yaklaşık yıllık 1 milyon olduğunu ve 21 milyar dolarlık finansal zarara neden olduğunu tahmin etmektedir. Yapılan araştırmalara göre gelişmekte olan ülkelere sahte ilaç oranı %50'lerde iken Afrika ülkelerinde bu oran %80'lere ulaşmaktadır (Orton vd., 2019). Gıda sektöründe ise Avrupa Birliği devletleri tarafından sahte gıda vakalarının 2016 ile 2019 yılları arasında %85 arttığı tespit edilmiştir (EIT Food, 2021). Sahte gıda ürünlerinin ticaretini engellemek adına Europol-INTERPOL ortak operasyonu OPSON VI gerçekleştirilmiştir, bu

operasyonda 230 milyon Euro değerinde yaklaşık 26,4 milyon litre sahte yiyecek veya içecek ele geçirilmiştir (Europol, 2017). Covid-19 pandemi döneminde gerçekleştirilen OPSON VIII’de 40 milyar dolar değerinde yaklaşık 12.000 ton sahte yiyecek içecek ele geçirilmiştir (Europol, 2021).

Diğer taraftan gıda sektörü özelinde dünyada alkollü iki sahteciliğinin de son derece yaygın olduğu bilinmektedir. Nitekim 2022 yılı Ekim ayında Avrupa komisyonu tarafından yayınlanan raporda Kuveyt’te 7500 şişe kaçak alkole; İrlanda’da 48500 litre kaçak bira ve yaklaşık 17000 litre kaçak şaraba; İtalya’da pazara sunulmaya hazır 4000 şişe sahte şaraba ve değeri 1 milyon Euro olan 50000 litre henüz şişelenmemiş sahte şaraba; Malezya’da 3288 kutu ve 1120 şişe kaçak ikiye; Suudi Arabistan’da 11000 litre yasadışı ikiye; Kosta Rika’da 2200 birim kaçak ikiye yetkililer tarafından el konuğu bildirilmiştir (European Commission Report, 2022). Aynı raporda sahte alkol nedeniyle Peru’da 75 kişinin ve Ekvador’da 20 kişinin öldüğü bildirilmiştir (European Commission Report, 2022). Yine Türkiye’de polis operasyonlarında yılda ortalama 1 milyon litre sahte alkol ele geçirilmiştir (BBC News Türkçe, 2020). Buna bağlı olarak Türkiye’de Aralık 2021’de 84 kişinin sahte alkol nedeniyle hayatını kaybettiği görülmüştür (Geylan, 2021).

Bir ürünün orijinalliğini kontrol etmenin en temel yolu ürünün paketinin yani etiketinin kontrol edilmesidir. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte sahteciler, sahte ürünlerin etiketlerini birebir taklit edebilmekte ve bu taklit yöntemlerine gün geçtikçe yenilerini eklemektedirler (zcan vd., 2004). Öyle ki Türkiye’de alkol ve sigara sahteciliğine karşı önlem almak amacıyla para basımında kullanılan bandrol teknolojisine benzer bandrollerin basılacağı bir tesis kurulmuş, kurulan tesisin toplam bedeli 600 milyon TL’ye ulaşmıştır (Ak, 2022).

Buraya kadar ana hatları ile ortaya konulmaya çalışılan sahteciliğin doğurduğu olumsuz sonuçlar, her geçen gün sahteciliği dünya için daha büyük bir sorun haline getirmektedir. Sahteciliğin önüne geçmek adına birçok çalışma yapılmasına rağmen (Khalil vd, 2019) güncel veriler, hala sahtecilik probleminin var olduğunu ortaya koymaktadır. Sahteciliğin önüne geçmek için bir ürünün perakendecisinden hammadde tedarikçisine kadar tüm tedarik zinciri sürecine dair bilgilerinin (işlem verilerinin) görünür hale getirilerek izlenebilirliğin sağlanması gerekmektedir. Tedarik zinciri izlenebilirliği, bir ürünün tüm tedarik zinciri aşamalarındaki verilere erişimi, ürünün geçmişini, yerini ve hareketini izleme yeteneğidir. (Aung ve Chang, 2014).

Günümüze kadar söz konusu izlenebilirliğin sağlanması için pek çok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerin en yeni ve en popüler olanı ise blokzincir teknolojisidir. Her geçen gün popülerliği artan ve ana avantajı iyileştirilmiş tedarik zinciri görünürlüğü ve

şeffaflığı kabul edilen blokzincir teknolojisi, tüm işlemlerin kullanıcılar tarafından doğrulandığı ve izlenebilir olduğu; paylaşılan ve senkronize bir ortamda kullanılan, değişmez, kurcalamaya karşı korumalı bir dağıtılmış defter teknolojisidir (Dutta vd., 2020). Bu yönüyle yakın zamana kadar pek çok farklı alanda kullanılmaya başlanan blok zincir teknolojisinden son dönemlerde sahteciliği önleme çalışmalarında da istifade edilmeye başlandığı görülmektedir.

Bilindiği üzere blokzincir, kaydedilmiş olan verilerin ve işlemlerin değişmez veri kaydıyla depolanan ve ağa ulaşımı olan kişilerce görülebilen dağıtılmış defterdir (IBM, 2022). Bir başka deyişle blokzincir, verilerin bloklar halinde depolandığı ve hash adı verilen kod ile şifrelendiği; kendinden önceki bloğun hash kodunu taşıyarak bir zincir modelini oluşturan teknoloji bütünüdür (Balamurugan vd., 2022). Blokların yapısında veri, bloğun ve bir önceki bloğun hash kodu bulunmaktadır (Polyzos ve Fotiou, 2017). Burada veriden kasıt her türlü işlem bilgisidir. Diğer taraftan her bir hash kodu benzersizdir ve bloğun kimliği olarak tanımlanabilir. Ayrıca bloğun yapısında bir önceki bloğun hash kodunu taşımasıyla, bloklar bir zincir modeli oluşturur (Zhu vd., 2021).

Blokzincir teknolojisinin yaygınlaşmasıyla popüler olan ve bu çalışma için de son derece önemli bir diğer teknoloji ise akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşmeler kısaca, belirli koşullar sağlandığında istenen işlemi kodlar aracılığıyla otomatik olarak gerçekleştiren programlar olarak tanımlanabilir (IBM, 2022). Bunlar aynı zamanda blokzincir içerisinde depolanarak değiştirilmesi mümkün olmayan güvenli kodlara dönüştürülürler. Böylece akıllı sözleşmeler şeffaf, değiştirilemez ve güvenilir hale gelirler. Akıllı sözleşmelerin gerçek dünyadaki sözleşmelerden farkı, bir kâğıt ve mürekkeple değil de kodlarla yazılmış olmasıdır. Akıllı sözleşmelerin kod halinde yazılması ise işlemleri otomatize eder bu da üçüncü bir kişiye gerek kalmadan sürecin güvenli ve otomatik bir şekilde ilerlemesini sağlar (Khan vd., 2021; Mohanta et al., 2018).

Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin sağladığı bu imkanlar bir arada değerlendirildiğinde, bu teknolojilerin gıda tedarik zincirlerinin izlenebilirlik, üretim, işleme ve dağıtım gibi tüm süreçlerinde kullanılmaya uygun bir teknoloji olduğu görülmektedir. Nitekim son dönemlerde ortaya konan çalışmalar, gıda tedarik zincirlerinin izlenebilirlik süreçlerinin blokzincir teknolojisi ile daha güvenilir ve verimli yapılabileceğini göstermektedir. Örneğin, Amerika’da perakende devi Walmart, dünyada birçok yere gönderilen ve kontaminasyonlara karşı hassas olan manganın tedarik zinciri boyunca izlenebilirliğini sağlamak için IBM’in blokzincir teknolojisi olan Hyperledger projesini kullanarak bir uygulama gerçekleştirmiştir. Blokzincir teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen IBM ve Walmart’ın ortak gerçekleştirdiği bu uygulama

sayesinde mangonun kökenlerini tespit ve takip süresi 7 günden 2,2 saniyeye inmiştir ve Walmart, gıda tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirlik sağlamıştır (Kamath, 2018).

Nitekim blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmelerle entegre edilen parti numaraları ve son kullanma tarihleri ile gıda ürünlerinin üretimi, depolanması ve dağıtımı gibi tedarik zinciri süreçleri izlenebilir. Böylece blokzincir teknolojisi ile gıda kaynaklı insan sağlığına zararlı salgınların veya sahteciliklerin azaltılması; yeni salgınların ve sahteciliğin önüne geçilmesi için tedbirler alınmasına katkı sağlayabilir (Yiannas, 2018; Antonucci vd., 2019).

Blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmelerin gıda sektörüne son derece uygun bu çalışma prensibi, gıda sektörünün daha özelinde ülkemizdeki çok fazla sahteciliği yapılan, doğurduğu olumsuz sonuçlar nedeniyle ülke genelinde büyük bir problem haline gelen ve daha önemlisi can kayıplarına neden olan rakı sahteciliği ile mücadelede de kullanılabileceği kanaatindeyiz. Yapılan bu çalışmada, sosyal, ekonomik ve sağlık açısından pek çok zararı olan gıda sahteciliğinin bir alt dalı konumundaki rakı sahteciliğine dikkat çekilerek bununla mücadele etmek için blokzincir tabanlı sistem mimarisi önerilmiş ve ilgili mimarinin bileşenleri ve işleyişi açıklanmıştır. Önerilen sistem mimarisinde, blokzincir teknolojisi olarak Hyperledger Fabric projesi kullanılmaktadır.

Söz konusu sistem mimarisiyle üretilen ürünlerin yani rakıların, hammadde tedarikçisinden perakendecisine kadarki tüm sürece, şeffaflık ve izlenebilirlik sağlamak için fiziksel akıştaki katma değeri olan işlem verileri bloklara kaydedilmektedir. Fiziksel ortamdaki varlıklar akıllı anlaşmalarla tanımlanmış ve izlenebilirliği akıllı anlaşmalarla gerçekleştirilmektedir. Mimarinin yapısında iki akıllı anlaşma bulunmaktadır. Bu anlaşmalardan ilki Varlık Kaydı Akıllı Sözleşmesi (VKAS), fiziksel katmandaki varlıkların dijital ortamda tanımlanmasını ve varlıklara parti kimliği (ID) atamasını sağlarken ikinci akıllı anlaşma olan Durum Güncelleme Akıllı Sözleşmesi (DGAS), fiziksel katmandaki tedarik zinciri paydaşları arasında gerçekleşen varlık aktarımının dijital ortamda gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Yine bu sisteme entegre edilen ve rakı şişelerine etiketlenen benzersiz QR kodları ile blokzincir katmanına erişim sağlanmaktadır. Böylece tüketici, eline ulaşan ürünün tüm aşamalarını şeffaf bir şekilde görebilecek yaşanabilecek herhangi bir sahtecilik olayını fark edebilecektir. Bu sebeple önerilen sistem mimarisinin rakıda yapılan sahtecilikle mücadele etme noktasında etkili bir çözüm olacağı öngörülmektedir.

KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde tedarik zincirinde izlenebilirlik hakkında yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Literatür taramasında öncelikle blokzincir ve akıllı anlaşmaların kullanılmadığı izlenebilirlik çalışmalarına ana hatları ile değinilecek; daha sonra esas konumuz olan blokzincir ve akıllı anlaşmaların kullanıldığı izlenebilirlik çalışmalarına yer verilecektir. Blokzincir ve akıllı sözleşmelerin kullanıldığı izlenebilirlik çalışmaları ise literatürün son derece fazla ve dağınık olması nedeniyle çalışmamızın konusu özelinde ürün, ilaç, gıda ve alkol olmak üzere dört başlığa tasnif edilmiştir.

Blokzincir ve Akıllı Anlaşmaların Kullanılmadığı İzlenebilirlik Çalışmaları

Yiu tarafından yayımlanan makalede (2016), şarap ve lüks ürün sahteciliğine karşı farklı kimlik doğrulama teknolojileri kullanılan Yakın Alan Etkileşimi (NFC) Özellikli Sahteciliği Önleme Sistemi (NAS) oluşturulmuştur. Önerilen sistemde, şarap veri tabanı ScanWINE ve TagWINE gibi bileşenler ile kontrol edilerek ürünlerin menşei ve orijinalliği korunmuş; tedarik zinciri boyunca ürün izlenebilirliği sağlanmıştır (Yiu, 2016).

Abdel-Basset vd. (2018) çalışmalarında, tedarik zinciri yönetiminde ayırık olan tüm süreçleri birleştirmek için Nesnelerin İnterneti Teknolojisi'ni (IoT) kullanarak tedarik zinciri yönetiminin şeffaflığını sağlamışlardır. Bu çalışmada, Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) kullanılarak ürünün bilgileri ve durumu tedarik zinciri boyunca takip edilmiş; bu bilgiler tedarikçi ve yönetici ile paylaşarak tedarik zincirinin şeffaflığı sağlanmıştır. Her ne kadar çalışmada izlenebilirlik kavramı geçmese de ürün bilgilerinin ve durumunun farklı paydaşlar arasında şeffaf bir şekilde paylaşılması ile ürün izlenebilirliği sağlanmıştır (Abdel-Basset vd., 2018).

Tsang vd. (2018) yazmış oldukları makalelerinde, soğuk tedarik zincirlerinde çevreye duyarlı ürünlerin doğru koşullarda saklanması ve soğukun neden olabileceği iş güvenliği risklerinin önlenmesi için IoT tabanlı risk izleme sistemi (IoTRMS) geliştirmişlerdir. Bu sistemde ürünün çevresel koşul verileri kablosuz ağ sensörleri ile toplanarak ürünün durumu izlenmiş, kalitesi kontrol edilmiş ve işçilerin sağlık durumları dikkate alınarak bulanık mantık yaklaşımıyla iş güvenliği risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Tsang vd., 2018).

Benatia vd. (2018), ürün izlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaları analiz etmiş ve bu analizden hareketle büyük veri teknolojisine dayalı ürün izlenebilirlik mimarisi önermiştir.

Önerilen mimaride, verileri toplayan, depolayan, analiz eden ve görselleştiren veri yönetim sistemi ile ürün orijinalliğini sağlayarak ürün güvenliği ve kalitesi sağlanmış; tedarik zinciri paydaşları arasında veri paylaşımını mümkün kılarak bu unsurların bir arada çalışabilirliği gösterilmiştir (Benatia vd., 2018).

González-Amarillo vd. (2018) çalışmalarında, seraların iç ortam şartlarının (sıcaklık, nem vb.) kontrol edilmesi ve tarım ürünleri verilerinin kaydedilerek izlenmesi için IoT tabanlı sera izlenebilirlik sistemi önermişlerdir. Önerilen sistemde, IoT sensörleri ile nem, sıcaklık, su tüketimi vb. değişkenlerin verileri bir web sistemine kaydedilmiş ve çiftçilerin yetiştirilen ürünlerin durumları hakkında gerçek zamanlı bilgiye ulaşmaları sağlanmıştır. Böylece serada tohumdan nihai ürüne kadar tüm sürecin izlenebilir olduğu bir sistem oluşturulmuştur (González-Amarillo vd., 2018).

Tu ve arkadaşları tarafından kaleme alınan makalede (2018), IoT tabanlı Siber Fiziksel Sistem (CPS) mimarisi önerilmiş ve bir vaka çalışmasında bu öneri uygulanmıştır. Önerilen mimarinin gerçek zamanlı görünürlük, izlenebilirlik, verimlilik, işçilik maliyeti, operasyonel uygulanabilirlik gibi açılardan mevcut sistemden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Tu vd., 2018).

RFID ve IoT teknolojilerinin kullanıldığı gıda tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi önerilen çalışmalarında Alfian ve arkadaşları (2020), önerdikleri sistem mimarisini son derece çabuk bozulan bir gıda olan kimchi'nin gıda tedarik zincirinde uygulanmışlardır. Sistemde, RFID, gıdaları izlemek ve takip etmek için kullanılırken IoT sensörleri, depolama ve nakliye aşamalarında sıcaklık ve nemi ölçmek için kullanılmış; gerçek zamanlı ürün bilgisi, sıcaklık ve nem geçmişi şeffaf bir şekilde kaydedilmiş; böylece tedarik zinciri izlenebilirliği sağlanarak tedarik zinciri verimliliği artırılmıştır. Bu sistemde RFID etiketlerinin durumunu tespit etmek için makine öğrenmesi kullanılmış ve bu sayede ürünlerin alınıp alınmadığı, sevk edilip edilmediği kolayca tespit edilmiştir (Alfian vd., 2020).

Akıllı paketleme çalışmaları analiz edildiği bir çalışmada Chen ve arkadaşları, (2020) kablosuz iletişim, sensörler ve bulut veri teknolojileriyle sağlanan akıllı paketleme sisteminde, ürünün durumunun anlık olarak gösterilebildiği ve gıdanın tarladan sofraya kadarki süreçte izlenebilirliğinin artırıldığı ortaya koymuştur. Bu sayede hırsızlığın önlenilebileceği, gıda kaybının ve israfının en aza indirilebileceği; gıdanın genel güvenliğinin ve kalitesinin arttırılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Chen vd., 2020).

Blokzincir ve Akıllı Anlaşmaların Kullanıldığı İzlenebilirlik Çalışmaları

Tedarik zinciri ürünlerinin menşeyini bulmak için blokzincir tabanlı bir çerçeve önerdikleri makalelerinde Malik ve çalışma arkadaşları (2018), tüketicilere veri kullanılabilirliği sağlayan, rekabetçi iş ortaklarına erişimi sınırlayan ve işlem yükünün üstesinden gelmek için ölçeklenebilirlik sağlayan üç katmanlı bir mimari sunmuşlardır. Söz konusu çalışma, blokzincir destekli bir tedarik zinciri izlenebilirlik sistemine yönelik tasarım boşluklarını kapsamlı bir şekilde vurgulamaktadır (Malik vd., 2018).

Saberi vd. (2018) hazırlamış oldukları çalışmada, blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler, tedarik zinciri yönetimine yönelik potansiyel uygulamalarla eleştirel bir şekilde incelenmiştir. İncelen çerçevede, dört blokzincir teknolojisi benimseme engeli kategorisi olan; kuruluşlar arası, organizasyon içi, teknik ve dış engeller tanımlanmış; tedarik zinciri yönetimi için blokzinciri teknolojinin benimsenmesi ve engellerin aşılmasına ilişkin öngörüler sağlayabilecek gelecekteki araştırma yönergeleri önerilmiştir (Saberi vd., 2018).

Blokzincir teknolojisine dayalı ürün izlenebilirlik sistemi önerilen bir diğer çalışma ise Wang ve çalışma arkadaşları tarafından yayımlanan çalışmadır (2019) Söz konusu bu çalışmada, akıllı sözleşmelerle tüm ürün aktarım geçmişlerinin sürekli olarak dağıtılmış bir defterde kaydedildiği ve ürünlerin kaynağına kadar izlenebilen bir zincir oluşturulduğu, blokzincir teknolojisine dayalı bir ürün izlenebilirlik sistemi önerilmektedir (Wang vd., 2019).

Fernández-Caramés vd. (2019) tarafından yayımlanan makalede, İnsansız Hava Araçları'nın (İHA) kullanılması için gerekli olan ürün izlenebilirliğini sağlamak gayesiyle RFID blokzincir kullanılarak İHA tabanlı sistem tasarımı önerilmiştir. Nitekim envanteri belirlemek, ürün izlenebilirliğini sağlamak gibi birçok süreci otomatikleştirerek endüstride verimlilik sağlayabilen otomatik görevleri gerçekleştiren İHA'ların kullanılması için görev ve bilgilerin güvenilirliğinin doğrulanması gerekmektedir. Bundan dolayı söz konusu sistem mimarisinde, İHA'lar tarafından toplanan verileri doğrulamak, depolamak, güvenilirliklerini sağlamak amacıyla blokzincir teknolojisi kullanılmış ve sistem depoda test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, otomatik sistemin envanter verilerini geleneksel manuel görevlere göre daha hızlı toplayabildiğini göstermektedir (Fernández-Caramés, 2019).

Xu vd. (2019) hazırladıkları çalışmalarında, ürün izlenebilirliğini sağlamak amacıyla OriginChain adlı blokzincir platformu kullanılarak blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemi geliştirilmişlerdir. OriginChain, şeffaf, değişmez veri kaydı sağlayarak ürün izlenebilirliğini gerçekleştirmiş ve ürün orijinallliği için akıllı sözleşmelerle otomatik mevzuata uygunluk denetimi sağlanmıştır (Xu vd., 2019).

Lou ve çalışma arkadaşları tedarik zinciri sorunlarını güvenli ve verimli bir şekilde çözen blokzincir tabanlı bir tedarik zinciri çerçevesi önermektedir. Önerilen bu çerçevede RFID ile gerçek zamanlı izlemeye yardımcı olan ürün kimliği oluşturulmuş ve bu kimlik ile ürünün menşeinin izlenmesi sağlanmıştır (Lou vd., 2021).

Agrawal ve çalışma arkadaşları, tekstil ve giyim tedarik zincirinde blokzincir tabanlı bir izlenebilirlik çerçevesini önermiştir. Önerilen çerçevenin uygulamasını göstermek için pamuğun kütlesini doğrulama mekanizması olarak kullanan özelleştirilmiş akıllı sözleşme ve işlem kuralları ile blok zinciri kullanan bir organik pamuk tedarik zinciri örneği sunmuştur (2021).

Hyperledger Fabric teknolojisine dayalı markalı giysiler için izlenebilir bir sahteciliğe karşı yönetim sistemi önerdiği çalışmalarında Chen vd. (2021), blokzincir ve tedarik zincirini birleştiren bir sistem çerçevesi önermiş ve tedarik zincirindeki her süreci ayrıntılı olarak analiz ederek açıklamışlardır. Söz konusu çerçeve ile üretim ve satış süreçleri, blokzincir ağına kaydedilerek müşterilerin satın alınan markalı giysilerin sahteciliğini blokzincir ağı aracılığıyla kolayca takip edebilmesi sağlanmıştır (Chen vd., 2021).

Tedarik zinciri boyunca gerçek ürünlerin tanımlanmasını sağlamak ve ürün sahteciliğini önlemek için işlevsel bir blokzincir teknolojisi önerilen çalışmalarında Jayaprasanna vd. (2021), blokzincir tabanlı yönetim sistemine kayıtlı ürün barkodundan hareketle barkod okuyucu kullanarak sahte ürünler tespit edilmesine yarayan bir sistem mimarisi kurmuşlardır. Ürün detaylarını ve o ürünün benzersiz kodu, veri tabanında bloklar halinde blokzincirde depolanır. Sistem müşteriden topladığı benzersiz kodu, blokzinciri veri tabanındaki girişlerle karşılaştırmakta ve kod eşleşirse müşteriye bildirimde bulunmaktadır. Böylece ürünün nereden alındığına dair bilgi alınabilmekte ve sahte ürün üreticisi tespit edilebilmektedir (Jayaprasanna vd., 2021).

Chen ve çalışma arkadaşları tarafından yayımlanan çalışmada (2022), lüks ürün sahteciliği ile mücadele etmek için ürün bilgilerinin değiştirilemez ve şeffaf hale getirilip tedarik zinciri boyunca lüks ürün izlenebilirliğinin sağlanması için blokzincir ve akıllı sözleşmelere dayalı yönetim sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde, hammadde tedariklerinden tüketiciye kadar olan tüm tedarik zinciri sürecinde ürün bilgileri dağıtık, değişmez, şeffaf veri depolama özelliğine sahip blokzincire depolanır, işlemler ise akıllı sözleşmelerle otomatik olarak yürütülür ve böylece ürün izlenebilirliği sağlanmış olur. Hyperledger Fabric platformunun kullanıldığı bu sistemin sahtecilik ve lüks ürünlerin izlenmesi sorununu çözdüğü bildirilmiştir (Chen vd., 2022).

Bocek ve arkadaşları tarafından hazırlan çalışmada (2017), blokzincir teknolojisi ve IoT sensör cihazlarının kullanıldığı; farmasötik tedarik zincirindeki operasyonel maliyetlerin düşürülmesini, veri değişmezliğinin ve sıcaklık kayıtlarının halka açık bir şekilde erişilebilirliğini sağlayan Modum.io isimli bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada sensör cihazları ile sevkiyat sırasında her bir ilaç paketinin sıcaklığı izlenmiş; elde edilen tüm veriler, akıllı sözleşmelerle ilacın kullanılabilirliği değerlendirilmiş ve değişmez veri kaydı için blokzincire aktarılmıştır (Bocek vd., 2017).

Huang vd. (2018) çalışmalarında, ilaç izlenebilirliği için hizmet sağlayıcıyı, üç bağımsız hizmet bileşenine (CSP, ASP ve QSP) ayırarak tüm hizmet mimarisini yeniden yapılandırmış ve izlenebilirlik verilerinin gerçekliğini ve gizliliğini sağlayan Drugledger adlı senaryo odaklı bir blokzincir sistemi önermişlerdir. Drugledger, hizmet sunumunu sağlarken aynı zamanda izlenebilirlik verilerinin gerçekliğini ve gizliliğini garanti etmekte ve hizmet sağlayıcı ayırımına göre tüm hizmet mimarisini yeniden yapılandırmaktadır. Böylece hizmet sağlayıcılar ile paydaşlar ve hastalar arasında sağlıklı ve sürdürülebilir bir sistem oluşturulmuştur (Huang vd., 2018).

Haq ve Esuka 2018 yılında yayımladıkları makalelerinde, ilaç tedarik sistemine izlenebilirlik, görünürlük ve güvenilirlik eklemek gayesiyle ilaç tedarik zinciri için blokzincir teknolojisine dayalı bir sistem mimarisi önermişlerdir. İlaç tedarik zincirine izlenebilirlik ve görünürlük eklemek ve sahtecilik sorununun üstesinden gelmek için blokzincirinin nasıl kullanılabileceği ayrıntılı olarak açıklanan bu sistemde, ilaçların üretiminden hastaya teslimine kadar blokzincir teknolojisiyle takip edilmesi tasarlanmıştır (Haq ve Esuka, 2018).

Sahte ilaç tedarik zincirinde ilaç güvenliği ile ilgili temel sorunları çözmek için blokzincirin gelişmiş özelliklerinde yararlanan bir diğer çalışma ise Kumar ve arkadaşları tarafından yayımlanmıştır. Bu makalede, ilaç sahteciliğinin ve üretilen ilaçların tüketiciye kadar tam izlenebilirliğinin blokzincir ve QR kod teknolojilerinden yararlanılarak sağlanması noktasında bir öneri sunulmuştur. (Kumar vd., 2019).

Singh vd. (2020), sahte ilaç sorununu azaltmak ve soğuk zincirdeki özel ilaçları izlenebilirliğini sağlayabilmek için, tüm tedarik zincirini takip eden sensör tabanlı bir IoT blokzincir çerçevesi önermişlerdir. Önerilen bu sistem, öncelikle IoT ve blokzincir tabanlı tedarik zinciri yönetimine uygun hale geliştirilmiş ve daha sonra bir ilaç tedarik zinciri aracılığıyla uygulanabilir bir akıllı sağlık ekosistemi tasarlanmıştır (Singh vd., 2020).

Uddin yayımladığı makalesinde, ilaç tedarik zincirindeki izlenebilirlik sorunlarını çözmek için MedLedger adlı blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistem mimarisi önermiştir. Önerilen MedLedger sistem mimarisinde, akıllı sözleşmeler ve Hyperledger Fabric blokzincir

platformundan yararlanılarak tedarik zinciri paydaşlarının işlemleri güvenli ve verimli şekilde yürütebilmesi; gerçek zamanlı ve doğru verilerle ilaç izlenebilirliği sağlanmıştır (Uddin, 2021).

Tian, tarım tedarik zincirinde “tarladan çatala” izlenebilirliği sağlamak amacıyla RFID ve blokzincir teknolojisi tabanlı tarım gıda tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi önermiştir. Söz konusu bu önerisinde üretim, dağıtım, depolama gibi tüm tedarik süreçlerindeki gerekli bilgilerin RFID ile eş zamanlı ve otomatik olarak dijital ortama aktarıldığı ve blokzincir teknolojisiyle güvenli olarak depolandığı bir sistem tasarlanmıştır. Bu güvenli veri depolama ve yönetim sistemi ile de gıda ürünlerinin izlenebilirliği sağlanmaktadır (Tian, 2016).

Tse ve çalışma arkadaşlarının (2017) yayımladıkları çalışmalarında, blokzincir teknolojisi kullanılarak gıda tedarik zincirinde ürün bilgi güvenliği uygulaması ortaya konmuş ve araştırma sonunda bu blokzincir tabanlı tedarik zinciri uygulamasının geleneksel tedarik zinciri sistemi ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Karşılaştırma sonucunda blokzincir tabanlı tedarik zincirinin izlenebilirliği sağlayarak üreticilere, denetim departmanlarına, tüketicilere fayda sağlayacağı ve tedarik zinciri verimliliğini arttıracığı sonucuna varılmıştır (Tse vd., 2017).

Gıda ürünlerinin durumunu gerçek zamanlı ve doğru bilgi sağlayarak güvenli, şeffaf ve dağıtılmış gıda tedarik zinciri izlenebilirliği sağlamayı hedeflediği çalışmada Tian (2017), gıda tedarik zinciri izlenebilirliğini sağlamak amacıyla Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları’na (HACCP), IoT ve blokzincir teknolojisi tabanlı BigchainDB izlenebilirlik sistemi önermiştir (Tian, 2017).

Tarım-gıda tedarik zinciri için IoT ve blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemi AgriBlockIoT önerilen çalışmalarında Caro vd. (2018), AgriBlockIoT sisteminde blokzincir sayesinde şeffaf, değişmez ve denetlenebilir veri depolaması sağlayarak “tarladan çatala” izlenebilirlik mimarisi oluşturmuşlardır. Bu sistem mimarisi Ethereum ve Hyperledger Sawtooth olmak üzere iki farklı blok zincir platformunda uygulanmıştır ve uygulama sonuçları iki platformun da farklı yönlerden üstün oldukları görülmüştür (Caro vd., 2018).

Sun vd. (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, likör sahteciliğine karşı IoT, akıllı sözleşme ve blokzincir teknolojisine dayalı izlenebilirlik sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde, tedarik zinciri bilgilerini sisteme otomatik şekilde depolamak için RFID okuyucuları kullanılmış, bilgiler şeffaf ve güvenilir depolama teknolojisi olan Ethereum blokzincirinde depolanmıştır. Akıllı sözleşmeler ise farklı seviyelerdeki kullanıcılar için farklı sorgu izinleri sağlayarak güvenliği sağlamıştır. Sistemde tüketiciler, likörün üretimden nakliyeye kadar şişe likörün tüm halka açık bilgilerini kontrol edebilmekte ayrıca tedarik zinciri paydaşları özel

bilgileri sorgulayabilmektedir. Bu sayede tüketici güveni artmakta, tedarik zinciri otomasyonunu ve verimliliği sağlanmaktadır (Sun vd., 2019).

Soya fasulyesinin tedarik zinciri boyunca izlenebilirliğinin sağlanması için blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistem mimarisi önerilen çalışmada Salah ve arkadaşları, Ethereum platformundan ve akıllı sözleşmelerden yararlanarak oluşturdukları mimari ile aracılardan ortadan kaldırıldığı, merkeziyetsiz, şeffaf veri depolama ile güvenlik ve güvenilirlik sağlandığı, işlemlerin otomatik olarak gerçekleştirilerek verimliliğin artırıldığı bir izlenebilirlik sistem mimarisi kurmuşlardır (Salah vd., 2019).

Bumblauskas vd. (2020), yumurtayı çiftlikten çatala kadar izleyebilmek için IoT ve blokzincir teknolojisi uygulama çerçevesi önermektedirler. Uygulamada oluşturulan şeffaf ve izlenebilir tedarik zinciri sayesinde tüketiciler ürün ve üretici hakkında doğru ve değiştirilemez bilgilere ulaşabilmekte, tedarik zinciri paydaşları için şeffaf ve güvenilir izlenebilirlik sistemi sağlanarak gıda geri çağırma işlemi kolaylaşmakta, dolandırıcılık riski azalmakta, verimlilik artmaktadır (Bumblauskas vd., 2020).

Casino ve çalışma arkadaşları, gıda tedarik zinciri izlenebilirliği için dağıtılmış, güvenilir ve güvenli bir mimari geliştirmiş ve test etmiştir. Önerilen yaklaşımı değerlendirmek için ise bir mandıra şirketinin gıda izlenebilirliği vaka çalışması sunulmuştur (Casino vd., 2020).

Blokzincir tabanlı gıda tedarik zinciri izlenebilirliği için mimari tasarım çerçevesi ve uygulama için analiz akış şeması önerilen çalışmada Feng ve çalışma arkadaşları, blokzincir tabanlı gıda tedarik zinciri izlenebilirliğinin son derece fayda sağladığını bildirilmişlerdir (Feng vd., 2020).

Cocco vd. (2021) tarafından yayımlanan makalede, İtalyan ekmeği tedarik zincirindeki süreci takip etmek, ürünlerin kalitesini ve ürünün zincir boyunca hijyenik koşullara uygunluğunu doğrulayabilmek ve İtalyan ekmeğinin şeffaf ve denetlenebilir izlenebilirliğe sahip olduğunu gösterebilmek için blokzincir tabanlı tedarik zinciri yönetim sistemi önerilmiştir (Cocco vd. 2021).

Dey vd., (2021) tarafından hazırlanan çalışmada, QR kod ve blokzincir tabanlı gıda tedarik zinciri izlenebilirlik çerçevesi FoodSQRBlock önerilmiştir. Süt ve balkabağı ürün tedarik zincirine uygulanan FoodSQRBlock çerçevesi ile ürün, tüketiciler ve üreticiler tarafından kolayca izlenebilmekte ve doğrulanabilmektedir (Dey vd., 2021).

Biswas vd. (2017) tarafından hazırlanan çalışmada, şarap endüstrisindeki sahteciliğe karşı mücadele etmek için şarabın üzüm yetiştiricisinden perakendecisine kadarki tüm tedarik

zinciri boyunca izlenebilirliğini sağlayan blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler tabanlı sistem mimarisi önerilmiştir. İşlem verileri, değişmez ve şeffaf olan bloklara kaydedilen ve ilgili paydaşlar tarafından izlenebilirliğini sağlayan mimari, üzümden şişeye kadar olan tüm süreçte şeffaflık, güvenlik ve güvenilirlik sağlamıştır (Biswas vd., 2017).

Cakic vd., (2021) yayımladıkları makalelerinde, şarabın tedarik zinciri boyunca izlenebilirliğini sağlamak için IoT, optik karakter tanıma (OCR) ve blokzincir teknolojisine dayalı sistem oluşturmuşlardır. Sistemde, şarap şişelerinin üstündeki seri numaraları OCR ile okunmuş, benzersiz olarak tanımlanmış ve blokzincir ile her bir şarap şişesinin tedarik zinciri boyunca durum bilgisi güncellenerek depolanmış, tüketicilerin şişeyi tarayarak ürün menşei, orijinalliyi vb. potansiyel özellikleri hakkında bilgi almasını sağlayan mobil uygulama oluşturulmuş ve böylece izlenebilirlik, ürün şeffaflığı ve güvenliği sağlanmıştır (Cakic vd., 2021).

Gayialis vd., (2021) yayımladıkları çalışmada, şarabın ve alkollü içkinin sahteciliği ile mücadele etmek amacıyla etiketlenen ve izlenen IoT, blokzincir tabanlı bir platform önerilmiş ve kavramsallaştırılmıştır. Önerilen platformda, BaaS (Hizmet olarak Blokzincir) uygulaması kullanılarak merkeziyetsiz, değişmez veri depolaması ile veri güvenliği sağlanmıştır. Aynı zamanda bu teknolojiler ile görünür, izlenebilir ve güvenli tedarik zinciri sağlanmış ve sahteciliğe karşı bir önlem alınmıştır (Gayialis vd., 2021).

Kapoor vd., (2021) yayımladıkları makalelerinde, şarap tedarik zincirindeki sahtecilikle mücadele etmek için, tüketiciye şarabın üzümlü yetiştiricisinden perakendecisine kadar her şarap partisini doğrulama yetkisi veren, her bir işlemin zincirde bir blok olarak kaydedildiği ve ilgili katılımcılar tarafından görülebildiği, blokzincir tabanlı bir şarap izlenebilirlik sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin, üzümden şişeye kadarki tüm süreçte şeffaflık ve güvenlik sağladığı belirtilmiştir (Kapoor vd., 2021).

Tokkozhina vd. (2021) tarafından yayımlanan çalışmada, şarap sahteciliğiyle mücadele etmek için ve şarabın hammadde temininden tüketicinin şarabı satın aldığı ana kadarki tedarik zinciri paydaşları arasındaki tüm işlemleri izlemek ve kaydetmek için akıllı sözleşmeler ve blokzincir tabanlı bir sistem mimarisinin kullanılması önerilmiştir. Önerilen mimari, tüketiciye şarabın menşei ve orijinalliyi garanti ederek marka itibarını arttırdığı belirtilmiştir (Tokkozhina vd., 2021).

Yiu tarafından hazırlanan bir diğer çalışmada (2021), lüks ürün sahteciliğine karşı izlenebilirlik sistemi olan ve sahtekarlık saldırısı, etiket klonlama, etiket devre dışı bırakma gibi olası ve riskli tehditler barındıran NAS'ın yerine, merkeziyetsiz, değişmez, güvenli veri depolama teknolojisi olan blokzincir kullanılarak Merkezi Olmayan NFC Etkinleştirilmiş

Sahteciliği Önleme Sistemi (dNAS) mimarisi önerilmiştir. Önerilen sistem mimarisi, lüks ürünlerin veri bütünlüğü ve güvenliği konusunda ikna edici özellikler sağlayan kaynak kayıtlarının tedarik zinciri boyunca kaydedildiği ve otomatik olarak doğrulandığı, güvenli ve değişmez bir bilimsel veri kaynağı izleme ve yönetim platformudur (Yiu, 2021).

İtalya'daki şarap tedarik zincirinin karşılaştığı şarap sahteciliği sorunu nedeniyle tedarik zinciri boyunca şeffaflık, verimlilik ve izlenebilirlik sağlamak için IoT ve blokzincir tabanlı çerçeve önerildiği çalışmalarında Agnusdei ve çalışma arkadaşları (2022), RFID, NFC, QR kodları kullanarak tedarik zinciri boyunca ürün ve süreç bilgilerini toplamayı ve blokzincirde depolamayı, süreç ve ürün bilgileri tedarik zinciri paydaşları ve tüketiciler tarafından görünür hale getirmeyi amaçlamışlardır. Böylece şarapların menşei, orijinalliği, kalitesi vb. bilgiler görünür hale gelerek güvenlik, güvenilirlik, şeffaflık, verimlilik sağlanmıştır (Agnusdei vd., 2022).

Şarap sahteciliği ile mücadele etmek için akıllı sözleşmeler ve blokzincir tabanlı tedarik zinciri izlenebilirlik sisteminin kullanıldığı bir diğer çalışma Gayialis vd. (2022) yayımladıkları çalışmadır. Bu çalışmada blokzincir tabanlı tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi Ethereum ağı üzerinde çalışan merkeziyetsiz uygulama olarak geliştirilmiştir (Gayialis vd., 2022).

MATERYAL VE YÖNTEM

Tedarik Zinciri

1990'lı yıllarda işletmeler, tek başına ve bağımsız olarak rekabet edebilme yeteneklerinin azalması nedeniyle tedarik zinciri ağını oluşturacak şekilde işletme faaliyetlerini geliştirmeye başlamışlardır. Günümüzde tedarik zincirlerinin daha da karmaşıklaşması nedeniyle işletmelerin başarısı, tedarik zinciri paydaşlarının faaliyetlerinin bütünleştirilmesine ve senkronizasyonuna büyük ölçüde bağlıdır (Yüksel, 2004). Tedarik zinciri, hammadde ve malzeme temini, bu hammadde ve malzemelerden ürün üretimi, ürünün satışı vb. süreçleri ve süreçteki tedarikçileri, fabrikaları, depoları, dağıtım merkezlerini ve perakendecileri içeren bir ağdır (Fox ve Teigen, 2001). Tedarik zinciri; arz ve talep yönetimi, hammadde tedarigi, üretim, montaj, envanter, depo, sipariş yönetimi, satış vb. faaliyetlerini ve tüm bu faaliyetlerin yürütülmesi için gerekli bilgi sistemleri olarak ifade edilmektedir (Yüksel, 2004). Başka bir tanımda tedarik zinciri; tedarikçiler, imalatçılar, perakendeciler ve müşteriler arasındaki iletişimin sağlanarak faaliyetlerin ortak alanda takibi, müşteri isteklerinin verimli bir şekilde karşılanması, malzeme, işgücü, zaman vb. kaynakları etkili biçimde kullanarak verimliliği artırmak, maliyetleri azaltmak için ortaya çıkan sistemdir (Yıldızöz, 2006).

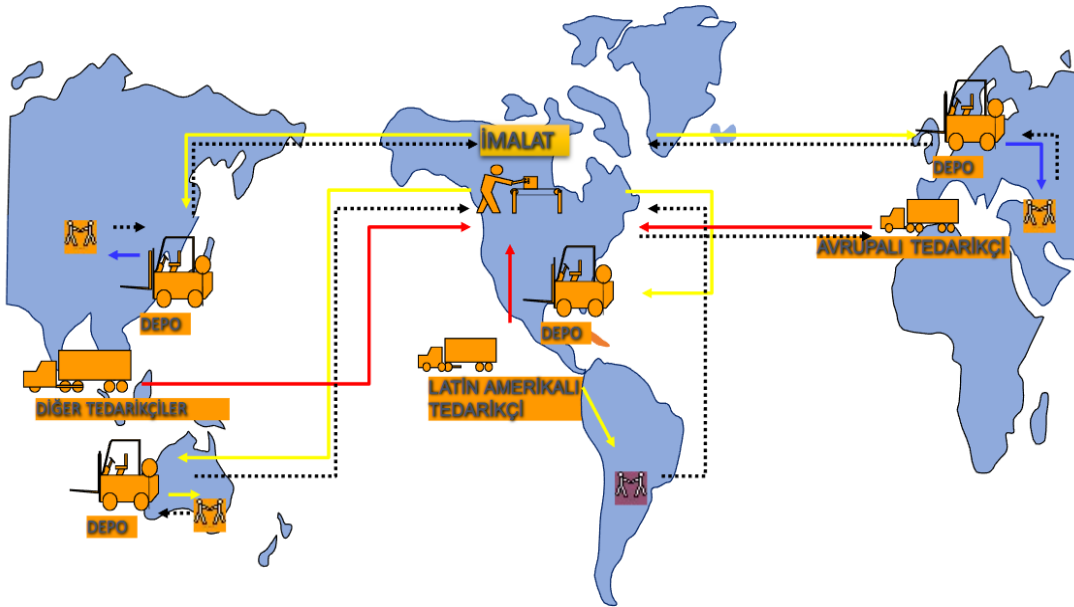
Etkin yürütülen bir tedarik zinciri hem tedarik zinciri paydaşı olarak ifade edilen işletmelerin hem de tüm tedarik zincirinin uzun vadeli performansını arttırmaktadır (Yılmaz, 2019). Tedarik zincirleri hizmet ve üretim organizasyonlarının ikisinde de mevcuttur, ancak zincirin karmaşıklığı endüstriden endüstriye büyük farklılıklar göstermektedir (Ganeshan, 1995). Bu karmaşık yapının yönetilmesi esastır bu noktada tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri performansını optimize edilmesi için stratejik, taktiksel ve operasyonel bir karar alma sürecidir. Stratejik seviye, tedarik zinciri ağını tanımlayan paydaşların seçimi vb. temel ve yönetsel faaliyetlerin kararlarını alma sürecidir. Taktik seviye, ürün veya hizmet talebini karşılayabilmek için tüm tedarik zinciri faaliyetlerini planlama sürecidir. Operasyonel seviye ise planlanan faaliyetlerinin yürütüldüğü süreçtir. Sonuç olarak tedarik zinciri yönetimi, tedarik zinciri boyunca ürün veya hizmet üretimi için tüm faaliyetlerin, planların koordine edilmesidir (Fox ve Teigen, 2001).

Gelişen teknoloji ile global dünyada hammadde temini, üretim, dağıtım kolaylaşmış ve bu durum bir ürünün tedarik zincirinin farklı coğrafyalara ulaşmasını sağlamıştır. Hammadde temini A şehrinden gerçekleştirilen bir ürünün üretimi B şehrinde satışı C şehrinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum tedarik zincirini karmaşıklaştırmış, tedarik zinciri

paydaşları arasında güvensizlik ortamı oluşmuş ve tedarik zinciri dışardan müdahalelere açık hale gelmiş sahte ürünlerin tedarik zincirine girmesi daha kolay hale gelmiştir. Şekil 1’de geleneksel tedarik zinciri gösterimi bulunmakta Şekil 2’de ise küresel tedarik zinciri gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1. Geleneksel tedarik zinciri (Ayvaz, 2016)



Şekil 2. Küresel tedarik zinciri (Ayvaz, 2016)

Blokzincir Teknolojisi

2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” adıyla yayımlanan makalede, Bitcoin uygulamasının işleyişi anlatılırken uygulamanın temelindeki teknoloji olarak blokzincir tanıtılmıştır (Nakamoto, 2008). Bitcoin, blokzincir teknolojisi ile merkeziyetsiz para transferinin gerçekleştiği bir uygulamadır. Bitcoin ile popülerlik kazanan ve dünyada büyük ilgi gören blokzincirin, internetin icadından sonra en önemli teknolojilerden biri olduğu belirtilmektedir (Esen vd., 2022). Blokzincir teknolojisi ile finans (Medium, 2018), kamu (Hou, 2017; Daley, 2022), sağlık (Angraal vd., 2017; Haleem vd., 2021), eğitim (Alammary vd., 2019; Guustaaf vd., 2021), tedarik zinciri (Sunny vd., 2020)

vb. birçok alanda pek çok çalışma yapılmış ve gittikçe önemi artan bu teknolojinin kullanıldığı çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Blokzincir teknolojisinin literatürde birçok farklı tanımı yapılmıştır. En öz haliyle blokzincir; merkeziyetsiz, taraflar arası güven gerektirmeyen, kriptografi kullanılan bir veri tabanıdır (Tian, 2016). İşlemlerin bir liste şeklinde depolanarak bloklarda saklandığı ve blokların sürekli büyüyen bir zincir modeli oluşturduğu (Zheng vd., 2017) teknoloji olan blokzincir, katılımcılar arası güven gerektirmeden depolanan işlemlerin doğrulanabildiği; geçmişten bugüne tüm işlemlerin erişilebilir olduğu, değişmez (Reyna vd., 2018) ve kurcalamaya karşı korumalı bir dağıtılmış defter teknolojisidir (IBM, 2022). Daha ayrıntılı bir açıklama ile blokzincir teknolojisi, işlem verilerinin bloklar halinde depolandığı; blokların kriptografi teknolojisi kullanılarak hash kodu ile şifrelendiği; bloğun ağdaki katılımcıların çoğunluğu tarafından doğrulandığı, her bloğun kendinden önceki bloğun hash kodunu taşıyarak bir zincir modeli oluşturduğu ve ağdaki tüm katılımcılarda eş zamanlı bir kopyasının bulunduğu dağıtık olarak depolanan teknolojidir (Zhu vd., 2021).

Blokzincirin gelişim süreci

Blokzincir gelişim süreci Blokzincir 1.0, Blokzincir 2.0, Blokzincir 3.0 ve Blokzincir 4.0 olarak dört temel adıma ayrılmaktadır. Blokzincir 1.0 kripto para uygulamasına sahiptir, Blokzincir 2.0 akıllı sözleşmeler sağlarken Blokzincir 3.0, finansal uygulamalar veya varlık transferlerinin ötesinde çeşitli alanlara hitap eden dağıtılmış uygulamalar (DApp'ler) geliştirir. Blokzincir 4.0, endüstri 4.0 uygulamalarını içermektedir (Mohanty vd., 2022). Blokzincirin Şekil 3'te gelişim süreci, Şekil 4'te ise ilgili süreçlerde popüler olan uygulamalar gösterilmiştir.

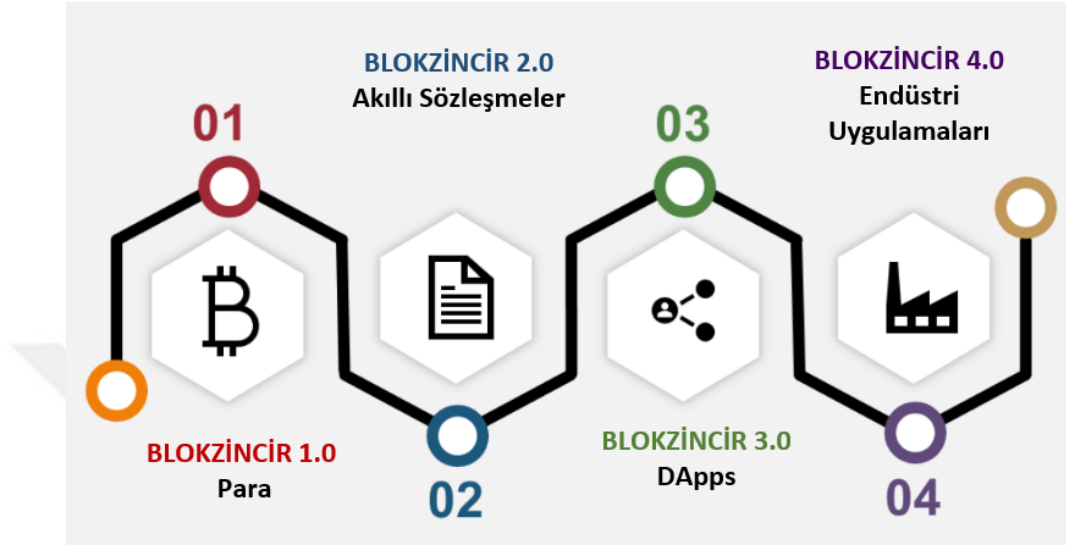
Blokzincir 1.0: Dijital para evresi olarak da adlandırılan Blokzincir 1.0 aşaması, ilk blokzincir uygulaması olan Bitcoin'in hayata geçmesi ile başlamıştır. Dijital ödemeyi sağlayan blokzincir uygulamaları kripto paraları ifade etmektedir (Tanrıverdi vd., 2019; Wei, 2022).

Blokzincir 2.0: Dijital ekonomi olarak da adlandırılan Blokzincir 2.0 aşamasında, akıllı sözleşmeler blokzincir uygulamalarına dahil edilmiştir (Tanrıverdi vd., 2019). 2014 yılında ilk olarak "yeni nesil kripto para birimleri ve merkezi olmayan uygulama platformları" olarak ortaya çıktı. Daha sonraları Vitalik Buterin tarafından geliştirilen Ethereum, akıllı sözleşmeleri kullanarak şartlara bağlı işlemleri gerçekleştiren ilk blokzincir uygulamasıdır. Bu uygulamalar, kredi, ipotek, hisse senetleri, tahviller ve vadeli işlemler gibi finans alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (Tanrıverdi vd., 2019; Turgut, 2020; Wei, 2022).

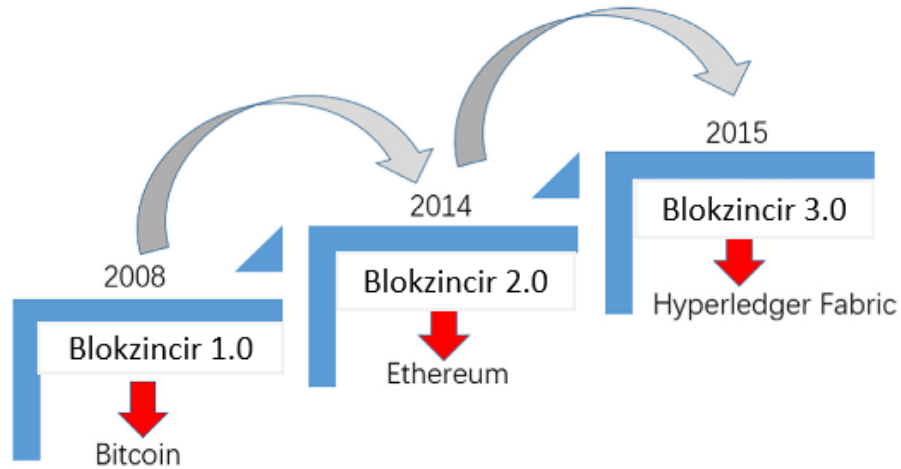
Blokzincir 3.0: Dijital toplum olarak da adlandırılan Blokzincir 3.0 ise yapısında akıllı sözleşmelerin bulunduğu DApp'leri içermektedir. DApp'ler sağlık, eğitim, iletişim, üretim,

yönetim, denetim, IoT, tedarik zinciri, akıllı şehir ve diğer birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Tanrıverdi vd., 2019; Mohanty vd., 2022). Hyperledger Fabric, Blokzincir 3.0'ün temsili platformu olduğu belirtilmektedir (Huang vd., 2020; Wei, 2022).

Blokzincir 4.0: Blok zincir teknolojisini iş ihtiyaçlarına ve endüstri 4.0 uygulayarak endüstri gereksinimlerine çözümler geliştirir (Huang vd., 2020).



Şekil 3. Blokzincirin gelişim süreci (Mohanty vd., 2022).



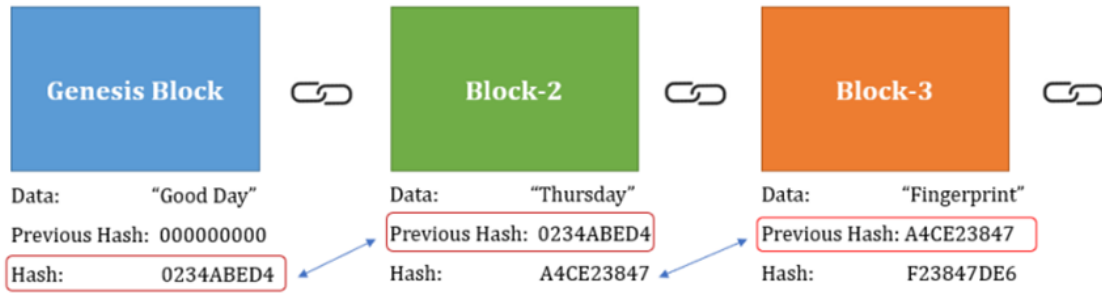
Şekil 4. Blokzincir süreçlerine göre popüler uygulamalar (Wei, 2022).

Blokzincir yapısı

Blokzincir teknolojisi blok, zincir ve ağ olarak üç ana bileşene ayrılmaktadır. Blokzincirin temelini oluşturan blok, belirli bir zaman aralığında gerçekleşen işlemlerin verilerinin depolandığı yerdir (Polyzos ve Fotiou, 2017). Blok yapısında işlem verileri, bloğun hash kodu ve bir önceki bloğun hash kodu bulunmaktadır. Bloğa kaydedilmeye değer her türlü bilgi anlamına gelen işlem verisi, blokzincirin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kullanıcılar tarafından oluşturulan ağdaki bu verilere, varlık aktarımı senaryosunda varlık

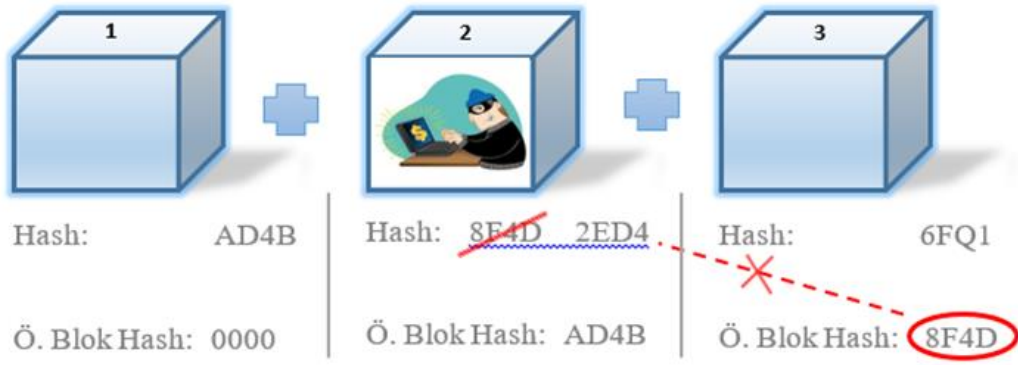
bilgisi, aktarım zamanı, alıcı ve gönderici adresleri gibi temel önemli bilgiler örnek olarak verilebilir (İndap, 2022). Hash kodu, kriptografi teknolojisi kullanılarak oluşturulan bir koddur ve bu kod her blok için benzersizdir ve bloğun kimliği, parmak izi, özeti veya dijital imzası olarak da bilinmektedir (Agbo vd., 2019). Bloklar, kendinden bir önceki bloğun hash kodunu yapısında bulundurmasıyla bloklar arasında bağlantı kurulabilmektedir. Kurulan bu bağlantı ise zincir olarak tanımlanmaktadır (Zhu vd., 2021). Genesis blok olarak adlandırılan zincirin ilk bloğunda, önceki hash kodunun değeri sıfırdır. Şekil 5’te blokzincirin yapısı gösterilmiştir:

Blokların yapısında veri, bloğun ve bir önceki bloğun hash kodu bulunmaktadır (Polyzos ve Fotiou, 2017). Burada veriden kasıt her türlü işlem bilgisidir. Diğer taraftan her bir hash kodu benzersizdir ve bloğun kimliği olarak tanımlanabilir. Ayrıca bloğun yapısında bir önceki bloğun hash kodunu taşımasıyla, bloklar bir zincir modeli oluşturur (Zhu vd., 2021).



Şekil 5. Blokzincir yapısı (Dikilitaş, 2021)

Yeni bloğun bir önceki bloğun hash kodunu bulundurmasıyla oluşan zincir ile veri depolaması oldukça güvenli hale gelmektedir. Çünkü bloğun içindeki bir verinin değiştirilmesi, bloğun hash kodunun değişmesine neden olmaktadır. Bu da değiştirilen bloktan sonra gelen blok arasında hash kodu tutarsızlığına sebep olmakta ve bloğun müdahale edilmiş bir blok olduğunun anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu duruma Şekil 6’da bir örnek verilmiştir. Böylece değiştirilmiş blok, zincire dahil edilmemektedir. Açıklanan bu mekanizma sayesinde blokzincire depolanan verilerin değiştirilmesi neredeyse imkansızdır. Ağ; blokzincir kullanıcılarının bulunduğu, blokların çoğaltılıp kullanıcılara dağıtıldığı ve blokların kullanıcılar tarafından doğrulandığı bir yapı olarak tanımlanabilir (Dikilitaş, 2021).



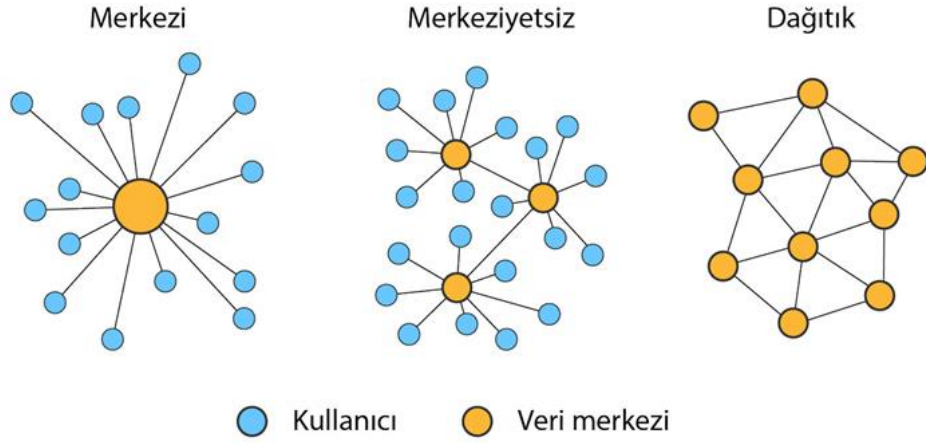
Şekil 6. Blokta veri değiştirme (Bozdağ, 2020)

Blokzincir çalışma mekanizması

Blokzincir teknolojisinin nasıl çalıştığını daha iyi anlatabilmek için önce birkaç kavramı açıklamak gerekmektedir. Bu kavramlar; dağıtık defter teknolojisi, eşten eşe ağ, fikir birliği mekanizmasıdır.

Dağıtık defter teknolojisi

Merkezi veri depolama sisteminde veriler tek bir merkezde depolanmakta ve düzenlenmektedir. Bu sistemde verilerin doğruluğu için merkeze güven esastır ve merkezde oluşacak bir problemle veriler deforme olabilir veya silinebilir. Merkeziyetsiz depolama sisteminde ise veriler birkaç merkezi noktada yer alır. Bu sistemde veri güvenliği, merkezi depolama sistemine göre daha iyidir (Yapıcı vd., 2021). Diğer taraftan bir ağ üzerinde yer alan birden fazla cihazın, birbirleriyle veri alışverişi yaptığı sisteme dağıtık ağ yapısı denir. Nitekim dağıtık depolama sisteminde veriler bir veya birkaç merkezde depolanmaz. Veriler kopyalanarak ağdaki tüm kullanıcılara dağıtılır. Bu sayede sistem tek bir veya birkaç merkeze güvene bağlı değildir. Ağdaki bir kullanıcıda verilerin silinmesi veya değiştirilmesi diğer verileri etkilemez. Verilerin tek bir merkezde depolanması yerine tüm kullanıcılarda depolanması sayesinde veri güvenliği sağlanmış olur (Natarajan vd., 2017; Şafak vd., 2021). Şekil 7’de merkezi, merkeziyetsiz ve dağıtık ağ yapıları gösterilmektedir.

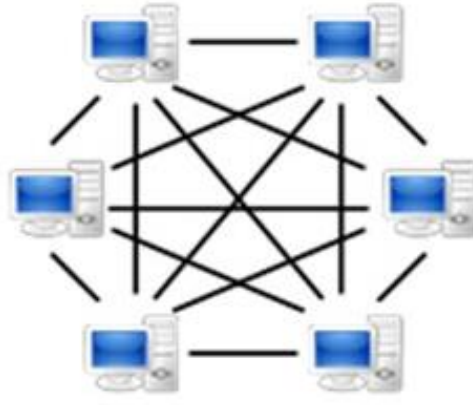


Şekil 7. Ağ yapıları (Günen, 2020a).

Ekonomi, toplum ve endüstride işleyişi değiştirme potansiyeline dağıtık defter teknolojisi, verilerin ağdaki kullanıcılarda bulunduğu ve ağdaki kullanıcıların eşit haklara sahip olduğu merkeziyetsiz veri depolama ve çoğaltma teknolojisidir (Sunyaev, 2020). Ağda kullanıcılardan biri tarafından veri eklemesi tüm düğümlere yayılmaktadır yani eşler arasında veri aktarımı gerçekleşmektedir (Natarajan vd., 2017; Yapıcı vd., 2021). Verilerin eşler arasında aktarıldığı ve depolandığı dağıtık defter teknolojisinde veriler doğrulandıktan sonra tüm ağda tüm defterlere yeni işlem eklenmekte ve böylece defter güncellenebilmektedir. Dağıtık defter teknolojisinin dağıtılmış özelliği sayesinde merkezi bir sisteme güvene gerek kalmadan doğrulanmış veriler güvenli bir şekilde kaydedilmektedir. Siber güvenlik, savunma, tedarik zinciri, sağlık, enerji, sigorta ve finans gibi alanlarda kullanılan bu teknoloji, blokzincirin temel yapısını oluşturmaktadır (Natarajan vd., 2017; Şafak vd., 2021).

Eşten eşe ağ (Peer to peer network P2P)

Eşten eşe ağ, merkezi sunucu olmadan ağdaki kullanıcıların verileri doğrudan birbirleriyle paylaştığı ağ protokolüne Peer-to-Peer denmektedir (Schollmeier, 2001). Bu ağda eşler, ağdaki kullanıcılar, katılımcılar ve düğümler olarak tanımlanmakta ve herhangi bir otoriteye ihtiyaç duymadan veri depolama ve veri paylaşımı yapmaktadırlar. Ağdaki eşler hem veri sağlayıcısı hem de veri tüketicisidirler yani ağdaki bilgisayarlar veri depolayabildikleri gibi, bilgisayardaki verilere ulaşarak veri sağlamak da mümkündür (Günen, 2020b). Blokzincirin yapısındaki veri paylaşımı aracı olmadan, eşten eşe ağ modeliyle gerçekleşmektedir. Böylece tüm kullanıcılar verileri depolamakta ve yayınlamaktadır (İndap, 2022). Şekil 8’de eşler arası ağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 8. Eşler arası ağ (Teach Computer Science, 2022).

Fikir birliği mekanizması (Consensus mechanism)

Blokzincir dağıtık depolama yapısını sağlamak için verinin ağdaki tüm eşlerde senkronize olarak bulunması gerekmektedir (Tanrıverdi vd., 2019; Ünal ve Uluyol, 2020). Blokzincirde depolanacak işlem verilerinin senkronize olması için her blok oluşumunda işlem verilerinin ağdaki eşler tarafından doğrulanması gerekmektedir. Bu doğrulama işlemini sağlamak için bir fikir birliği mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Aslan ve Kasapbaşı, 2022). Fikir birliği mekanizmasını açıklamadan önce literatürde Bizans Generali Sorunu olarak geçen sorununu açıklamak gerekmektedir. Buna göre Bizans ordusu şehri kuşattığında askerlerin bir kısmı saldırmayı bir kısmı ise geri çekilmeyi önerir fakat askerlerin saldırmayı öneren kısmı şehre saldırdığında başarısız olacaklardır. Bu sorunu çözmek için saldırmak veya geri çekilmek konusunda ordunun bir fikir birliğine varılması gerekmektedir. Dağıtık ağ olan blokzincirde defterlerin aynı olmasını sağlayacak merkezi düğüm yoktur (Zheng vd., 2017). Bu nedenle blokzincire eklenen yeni blok, ağdaki eşler tarafından fikir birliği oluşturularak onaylanmalıdır (Tanrıverdi vd., 2019). Fikir birliği mekanizması, eşlerin verileri ve blokları belirli yöntemlerle doğruluğunu onaylama mekanizması olarak da tanımlanır (İndap, 2022). Fikir birliği mekanizması, mutabakat, doğrulama ve konsensüs olarak da ifade edilmektedir (Aslan ve Kasapbaşı, 2022). Blokzincirde fikir birliği mekanizmasını sağlamak için çeşitli protokoller geliştirilmiştir. Bu protokollerden yaygın olarak kullanılanları aşağıda açıklanacak olan Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) protokolleridir (Zheng vd., 2017).

İş ispatı (Proof of Work-PoW)

İş ispatı protokolü, blokları doğrulamak için karmaşık matematik problemleri çözmeyi gerektirmektedir. Önceden belirlenen kurallara göre yeni bloğun hash kodunu bulmayı amaçlayan problem, ağdaki eşler (düğümler) tarafından ancak güçlü bilgisayarlar ile çözülebilmektedir. Bu işleme “madencilik” denmekte ve problemi çözmeye çalışan eşlere ise

“madenci” adı verilmektedir (Lin ve Liao, 2017; Toka, 2021). Madenci hash kodunu bulduğunda ağdaki diğer eşlere yayınlanır ve hash kodu doğrulandıktan sonra blok, zincire dahil edilir (Reyna vd., 2018). Problemi çözebilmek için ağdaki eşler birbiriyle rekabet halindedir, çünkü problemi ilk çözen eş, kripto para ile ödüllendirilmektedir. İfade edilmeye çalışılan bu protokolün en popüler kullanıcıları Bitcoin ve Ethereum uygulamalarıdır. Diğer taraftan PoW protokolü hesaplamalar için çok fazla enerji tüketmektedir (Kandiye, 2020).

Hisse ispatı (Proof of Stake-PoS)

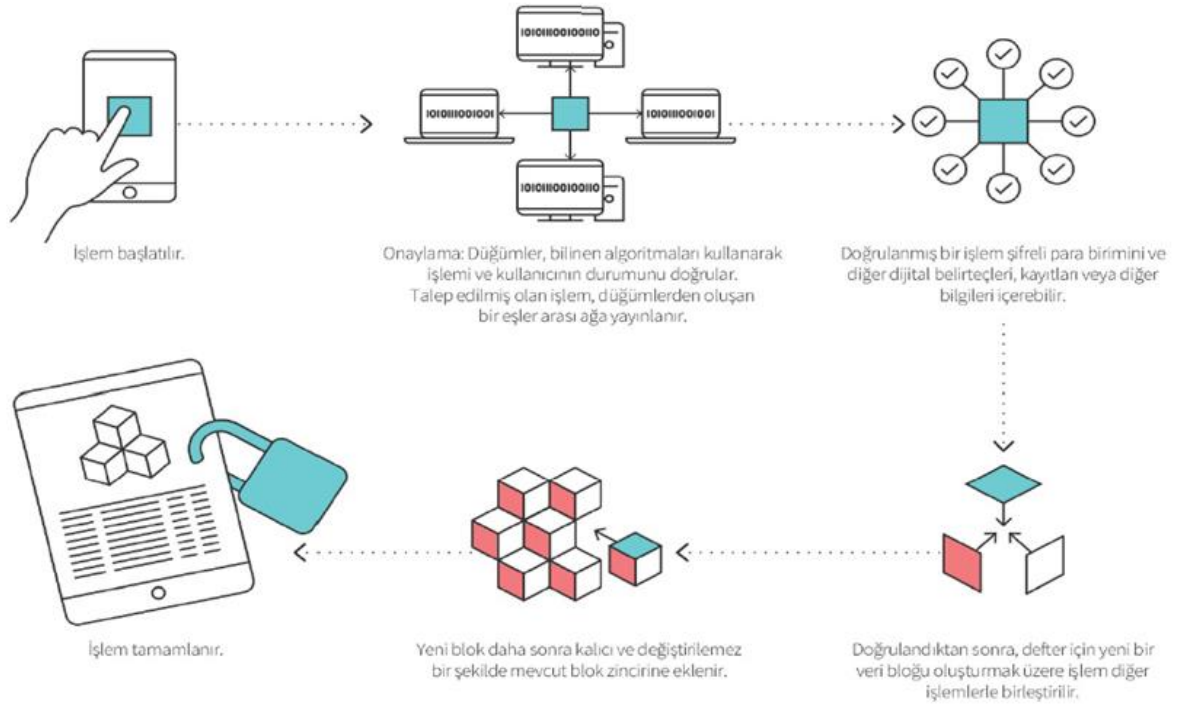
Hisse ispatı, iş ispatının yüksek enerji harcama sorununa karşılık daha az enerji tüketen alternatif protokoldür (Lin ve Liao, 2017). Hisse ispatı protokolü, hissesi fazla olan kullanıcıların ağı sabote etme riskinin daha düşük olduğu düşüncesine dayanarak yeni bloğun doğrulayıcısını kullanıcılar arasından rastgele seçmektedir (Kandiye, 2020). Bu protokolde, hissesi yani kripto parası fazla olan kullanıcının doğrulayıcı olarak seçilme ihtimali daha fazladır. Hisse ispatı protokolünde doğrulayıcı olarak seçilen kullanıcı yeni bloğun hash kodunu üretir ve böylece yeni bir blok oluşturulur, ağdaki kullanıcılar da bu bloğu onaylar ise blokzincire eklenir ve doğrulayıcı ödülünü alır (Kaynak, 2020).

Pratik Bizans Hata Toleransı (Practical Byzantine Fault Tolerance-pBFT)

Pratik Bizans hata toleransı, kötü niyetli eşlere rağmen fikir birliği sağlayan bir protokoldür. Bu protokolde hash değeri eşlerin 2/3’ünden fazlası tarafından doğrulanmışsa yeni blok doğrulanmakta ve zincire eklenmektedir. Nitekim Hyperledger Fabric fikir birliğine varmak için bu protokolü uygulamaktadır (Castro ve Liskov, 1999; Kardaş, 2019).

Blokzincir çalışma mekanizmasını tanımlamadan önce bloğun yapısı ve blokzincir temelindeki bileşenler yukarıda açıklanmıştır. Aşağıda blokzincir teknolojisinin çalışma mekanizması adım adım açıklanarak Şekil 9’da blokzincirin çalışma mekanizması gösterilecektir.

1. Kullanıcı/eş/düğüm tarafından işlem talebi başlatılır.
2. İşlem ağda yayınlanır.
3. İşlem ağdaki düğümlerin çoğunluğu tarafından doğrulanır.
4. Belirli zaman aralığında gerçekleşen işlemlere ait doğrulanmış verilerle blok oluşturulur.
5. Fikir birliği protokollerinden biri kullanılarak bloğun hash kodu oluşturulur.
6. Yeni blok, varolan zincire kronolojik sırayla eklenir.
7. Böylece blok kalıcı ve değişmez hale gelir.
8. İşlem tamamlanır.



Şekil 9. Blokzincir çalışma mekanizması (Softtech, 2020).

Blokzincir özellikleri

Merkeziyetsizlik: Geleneksel merkezi sistemde her işlem verisi banka gibi merkezi bir düğüm tarafından doğrulanmakta ve depolanmaktadır. Bu sistem güvene dayalı ve verimsizdir (Zheng vd., 2017). Merkezi sistemin aksine, işlem verileri sadece merkezi düğüm tarafından değil, ağa dahil olan herkes tarafından dağıtık olarak depolanmakta ve güncellenmektedir (İndap, 2022).

Dağıtıklık: Blokzincirde işlem verileri tek bir merkezi düğümde tutulmamakta, dağıtık olarak ağdaki tüm düğümlerde depolanmakta ve güncellenmektedir (İndap, 2022).

Şeffaflık: Blokzincirde işlem verileri bloklara depolanmaktadır ve depolanan bu veriler şeffaf olup depolama sırasında ve depolama sonrasında denetlenebilmektedir (Lin ve Liao, 2017).

Değiştirilemezlik: Blokzincirdeki bloklar birbirine hash koduyla bağlı haldedir. Hash kodu bloğa özeldir ve blokta yapılacak herhangi bir değişiklik bloğun hash kodunu değiştirir. Blokların zincir yapısı bozulur. Bu sayede zincire kaydedilen hiçbir blok değiştirilemez depolanan bloktaki işlem verilerinin güvenliği sağlanır (İndap, 2020).

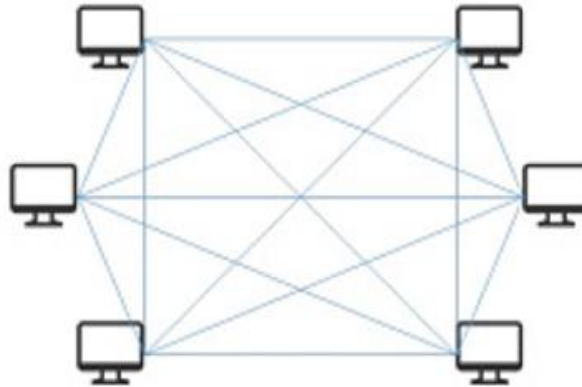
Blokzincir türleri

Blokzincir dağıtılmış bir defterdir fakat bu defterin kullanım amacına göre defteri kimin yazabileceği, kimin okuyabileceği ve kimin onaylayabileceği gibi özellikleri farklılık

göstermektedir (Kaynak, 2020). İlk geliştirilen blokzincir uygulaması olan Bitcoin, açık blokzincir türüne sahiptir. Ancak blokzincirin farklı alanlarda kullanılmasıyla birlikte farklı ihtiyaçlara yönelik çeşitli blokzincir türleri geliştirilmiştir. Blokzincir türleri halka açık, özel ve konsorsiyum olarak 3 gruba ayrılmaktadır (Dikilitaş, 2021). Bu blokzincir türlerinin çeşitli unsurlar açısından karşılaştırılması Tablo 1’de verilmektedir.

Halka açık blokzincir (Public)

Halka açık blokzincir, ağa katılıp işlem yapabilmek için herhangi bir kısıtlama veya kimlik doğrulaması gerektirmemektedir. Herkesin ağa erişebileceği ve işlem yapabileceği açık bir platform olan bu blokzincir türü izinsiz blokzincir olarak da adlandırılmaktadır (Punthal vd., 2018; Kandiye, 2020). Bu blokzincir türü merkezi otoriteden tamamen bağımsız olarak kabul edilmektedir (Ünal ve Uluyol, 2020). Ağa katılan herkes işlem verilerini okuyabilme, doğrulayabilme ve denetleyebilme konusunda tam yetkiye sahiptir (Punthal vd., 2018). Bitcoin ve Ethereum, halka açık blokzincir türüne örnek olarak gösterilebilir (Lin ve Liao, 2017). Şekil 10’da halka açık blokzincir yapısı gösterilmektedir.

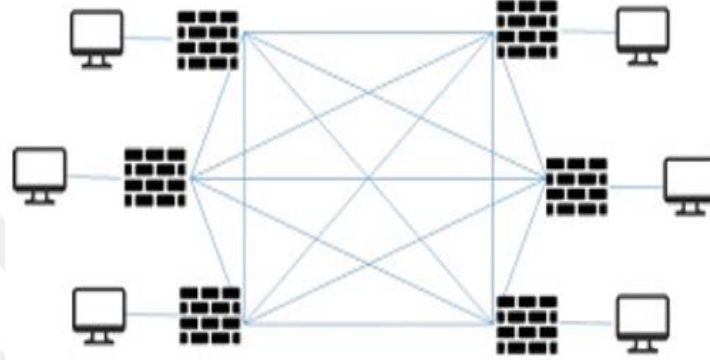


Şekil 10. Halka açık blokzincir yapısı (Lin ve Liao, 2017).

Özel blokzincir (Private)

Blokzincirin amacı verileri değişmez ve dağıtık bir sistemle depolamaktır. Ancak bazı verilerin hem dağıtık ve değişmez olarak depolanması hem de veri gizliliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu gereksinim özel blokzinciri ortaya çıkarmıştır. Amacı gizli verileri dağıtık ve değişmez bir ağda depolamak olan özel blokzincir, bir grup veya organizasyon tarafından veri paylaşımı için kullanılmaktadır (Puthal vd., 2018). Katılımcının ağa katılabilmesi ve işlem yapabilmesi için katılımcıya merkezi otorite tarafından izin verilmesi gerekmektedir (Wüst ve Gervais, 2018). İzinsiz ağa katılıp işlem yapılamadığı için bu tür blokzincirler izinli blokzincir olarak da adlandırılmaktadır (Tanrıverdi vd., 2019). Bu sistemde işlem verilerini yazma, okuma veya doğrulama gibi yetkiler, ağ yöneticisi tarafından belirlenmektedir (Wüst ve Gervais, 2018). Merkezi otorite, ihtiyaç duyulması halinde daha önceden kaydedilmiş bloktaki veriyi

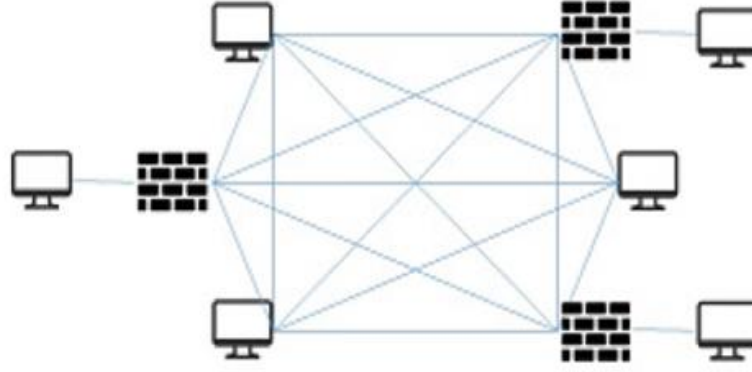
değiştirebilmektedir (Ünal ve Uluyol, 2020). Merkezi otorite tarafından izin alan kullanıcılar defterin bir kopyasını bulundurlar ancak yazma, onaylama gibi görevleri kısıtlanabilmektedir (Puthal vd., 2018). Bu blokzincir türünde otoriteye güven söz konusudur ve bu tür blokzincir yapısı kısmi merkeziyetsizdir (Kaynak, 2020). Nitekim özel blokzincir; sağlık, sigorta, tedarik zinciri yönetimi, devlet servisleri ve emlak gibi alanlarda kullanılmaktadır. Hyperledger Fabric ve Ripple özel blokzincire örnek gösterilebilir (Iredale, 2021). Şekil 11’de özel blokzincir yapısı gösterilmektedir.



Şekil 11. Özel blokzincir yapısı (Lin ve Liao, 2017).

Konsorsiyum blokzincir (Consortium)

Konsorsiyum blokzincir, halka açık ve özel blokzincirin karışımı olarak ifade edilmektedir (Ünal ve Uluyol, 2020). Özel blokzincir gibi izinli yapıdadır fakat ağda birden fazla grup veya organizasyon bulunmaktadır ve ağ, ayrıcalığa sahip katılımcılar tarafından yönetilmektedir. Diğer katılımcılar ise kayıt tutma sürecine dahil olamazlar fakat blokzincir üzerindeki sınırlı bilgileri sorgulayabilirler (Ye vd., 2018). Dolayısıyla kısmi merkeziyetsiz bir yapı bulunmaktadır. Konsorsiyum blokzincirinde fikir birliği daha önce belirlenmiş kullanıcılar tarafından gerçekleştirilmektedir (Kandiye, 2020; Iredale, 2021). Nitekim konsorsiyum blokzincirde ağa katılma, işlem verilerini yazma, okuma ve doğrulama yetkisi, ağ yöneticisi tarafından belirlenmektedir (Ünal ve Uluyol, 2020). Konsorsiyum blokzincir, aynı sektörde yer alan şirketler için çeşitli işlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Nanayakkara vd., 2019; Kaynak, 2020). IBM firmasının Hyperledger projesi bu zincir türünün en iyi örneğidir (Ünal ve Uluyol, 2020). Şekil 12’de konsorsiyum blokzincir yapısı gösterilmektedir.



Şekil 12. Konsorsiyum blokzincir yapısı (Lin ve Liao, 2017).

Tablo 1. Halka Açık, Özel ve Konsorsiyum Blokzincirlerinin Karşılaştırması (Zheng vd.,2017; Kaynak, 2020)

	Halka Açık Blok Zincir	Özel Blok Zincir	Konsorsiyum Blok Zincir
Fikir Birliği	Tüm Katılımcılar	Seçili Katılımcılar	Seçili Organizasyon
Okuma İzni	Açık	İzinli/ Açık	İzinli/ Açık
Ağa Katılım	Herkes katılabilir	Seçilen Katılımcılar	Seçilen Katılımcılar
Merkeziyetçilik	Hayır	Kısmen	Evet
Değişmezlik	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek
Verimlilik	Düşük	Yüksek	Yüksek

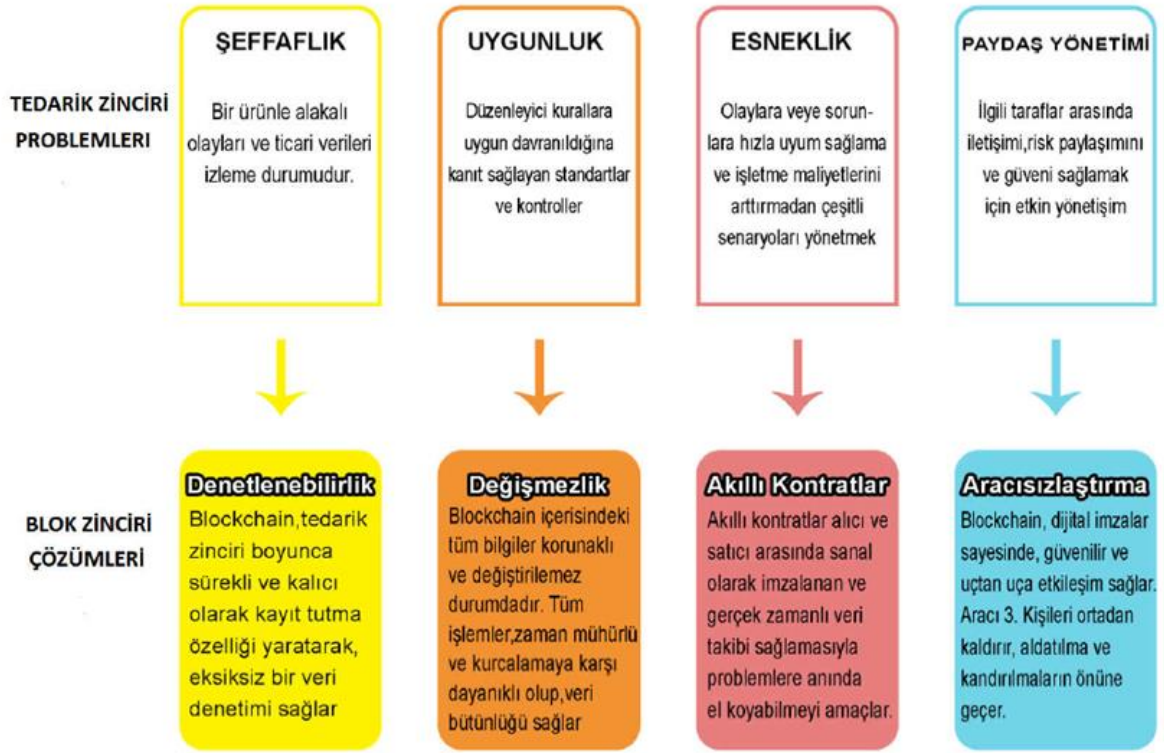
Tedarik Zinciri ve Blokzincir İlişkisi

Tedarik zinciri, bir ürünün hammadde tedarigi, üretimi, depolaması, dağıtımını gibi süreçleri ihtiva eden sistem olarak tanımlanabilir. Bu sistem ürünün fiziksel akışına paralel gerçekleşen tedarik zinciri paydaşları arasındaki bilgi akışını da kapsamaktadır. Yine bu sistem paydaşlar arası güvene dayalıdır (Pundir vd., 2019; Külahlı ve Çağlıyan, 2022; Arıcı ve Kocaoğlu, 2022). Gelişen teknoloji ile birlikte küresel hale gelen tedarik zincirinde paydaşlar çoğalmış, tedarik zinciri farklı coğrafyalara yayılmış zaten çok aşamalı olan tedarik zinciri daha karmaşık bir hale gelmiştir. Günümüz tedarik zincirlerinde tüm işlem bilgilerine hâkim olmak oldukça zordur. Bu zincirde işlem bilgileri ait oldukları paydaşlar tarafından yerel olarak depolanmaktadır ve kısıtlı paydaşlar tarafından erişilebilirdir (Abeyratne ve Monfared, 2016). Bu durum tedarik zinciri sürecinde bilgi aktarımını zorlaştırmakta ve bu nedenle tüketici ürünlerin ne zaman nerede nasıl üretildiği hakkında çok az bilgiye sahip olmaktadır (Abeyratne ve Monfared, 2016). Tedarik zincirinde meydana gelen bu karmaşık yapı beraberinde ürünün çalınması veya kaybolması, son kullanma tarihi geçmiş ürünlerin yeniden etiketlenmesi, ürün sahteciliği, mevzuata uygun olmayan koşullarda üretim veya nakliyenin yapılması, yanlış/eksik bilgi nedeniyle verimsiz süreçler gibi birçok potansiyel olumsuz sonuçları bulunmaktadır (Pundir vd., 2019). Tedarik zincirindeki potansiyel sorunlara karşın sürecin şeffaflığı ve izlenebilirliği sağlanmalıdır. Blokzincir ve akıllı sözleşme teknolojileri tedarik zincirinde şeffaflığı ve izlenebilirliği sağlayarak bu sorunlara çözüm olarak birçok katkı sağlamaktadır (Abeyratne ve Monfared, 2016).

Teknolojilerin tedarik zinciriyle ilişkilerini açıklamadan önce şeffaflık ve izlenebilirlik kavramlarını açıklamakta fayda vardır. Bu iki kavram çoğunlukla birbiri yerine kullanılmaktadır fakat birbiriyle ilişkili bu kavramlar tamamen farklı anlamlara sahiptir. Tedarik zinciri şeffaflığı, süreçlerin görünürlüğünü ele alan tüm paydaşların ürünle ilgili talep etikleri doğru ve eksiksiz bilgiye erişme becerisidir (Hofstede vd., 2004; Sunny vd., 2020). Tedarik zinciri izlenebilirliği, bir ürünün tüm tedarik zinciri aşamalarındaki verilere erişimi, ürünün geçmişini, yerini ve hareketini izleme yeteneğidir. İzlenebilirlik, ürün hakkındaki bilgilerin şeffaflığından yararlanarak tedarik zinciri boyunca ürün hakkında ne, nasıl, nerede, neden, ne zaman ve kim gibi soruları cevaplamayı sağlamaktadır (Aung ve Chang, 2014; Sunny vd., 2020). İzlenebilirlik sayesinde zincirdeki tüm paydaşlar ürünün tedarik zinciri boyunca geçtiği süreçleri ileri ve geri (tedarikçiden tüketiciye/ tüketiciden tedarikçiye) yönlü olarak izleyebilmektedir (Bakan ve Şekkeli, 2019; Yavuz ve Avunduk, 2021).

Blokzincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler, işlemlerin izlenmesi ve doğrulanması için güvenli ve şeffaf bir platform sağlayarak tedarik zinciri endüstrisinde devrim yaratma

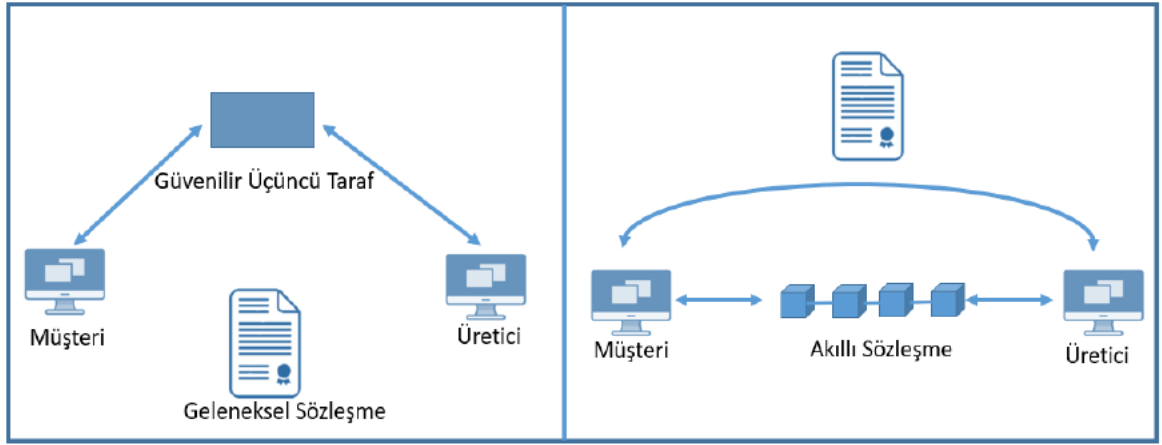
potansiyeline sahiptir (Abeyratne ve Monfared, 2016). Blokzincir teknolojisi, birçok eşin işlem verilerini güvenli ve şeffaf bir şekilde kaydeden, kaydedilen verilerin değiştirilemediği veya silinemediği, merkezi olmayan dağıtılmış bir defter teknolojisidir (Sunny vd., 2020). Blokzincir yapısındaki şeffaf depolama ve değişmez veri kaydı bu teknolojiyi tedarik zinciri boyunca izlenebilirlik için uygun bir teknoloji haline getirmektedir (Abeyratne ve Monfared, 2016). Blokzincir tabanlı tedarik zinciri ile ürünün tedarik zinciri boyunca hareketi kaydedilmekte, ürün izlenmekte ve çoklu ve güvensiz paydaşların aralarında gerçekleşen işlemlerin güvenli olmasını sağlamaktadır (Würst ve Gervais, 2017; Bakan ve Şekkeli, 2019). Blokzincir teknolojisinin tedarik zinciri problemleri için sağladığı çözümler şekilde açıklanmaktadır. Blokzincir teknolojisinin ortaya çıkmasından sonra akıllı sözleşmeler popülerlik kazanmıştır çünkü blokzincirin değişmez veri kaydı özelliği akıllı sözleşmeleri güvenli hale getirmektedir (Yavuz ve Avunduk, 2021). Akıllı sözleşmeler, belirli şartlar sağlandığında otomatik olarak işlemleri gerçekleştiren kodlar bütünüdür. Blokzincirde depolanan ve yine blokzincirde depolanan işlem verilerini kullanan akıllı sözleşmeler aracılığıyla ortadan kaldırmaktadır (Christidis ve Devetsikiotis, 2016). Akıllı sözleşme teknolojisi sayesinde karmaşık olan tedarik zincirlerinde ürün izlenebilirliği sağlanarak ve işlemler otomatize edilerek süreçler basit, şeffaf, verimli ve efektif hale gelmektedir (Law, 2017). Ağdaki herkesin görebildiği ve doğrulayabildiği akıllı sözleşmelerle işlemler önceden belirlenmiş koşullara bağlı olarak otomatik gerçekleştiği için paydaşlar arasında güven ortamı oluşmaktadır. Akıllı sözleşmeler kullanılarak, tedarik zinciri boyunca ürünün hareketi izlenebilmekte, kalite kontrol işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilebilmekte, ticari işlemler otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir (İndap, 2022). Ürünün tedarik zinciri boyunca izlenebilmesi hatalı ürünü geri çağırma, ürün menşeyini görebilme gibi önemli konularda verimlilik sağlamakta tedarik zinciri boyunca yaşanması muhtemel hırsızlık, dolandırıcılık ve sahtecilik risklerini de azaltmaktadır (Law, 2017). Özetle, tedarik zincirinde blokzincir ve akıllı sözleşmelerin kullanılması şeffaflığı, izlenebilirliği, güvenliği ve verimliliği artırarak etkili bir tedarik zincirini sağlamaktadır. Şekil 13'te tedarik zinciri problemleri için blokzincir çözümleri gösterilmiştir.



Şekil 13. Tedarik zinciri problemleri için blokzincir çözümleri (Arıcı ve Kocaoğlu, 2022).

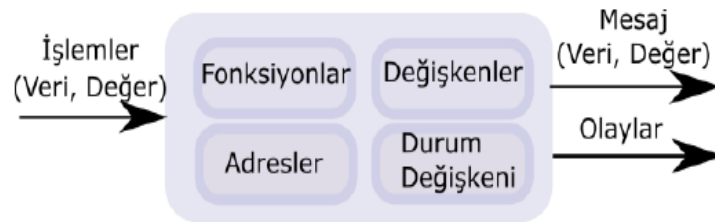
Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşme, Nick Szabo tarafından blokzincir uygulaması Bitcoin'den çok önce bir sözleşmenin şartlarını sağlayan işlem protokolü olarak tanımlanmıştır (Christidis ve Devetsikiotis, 2016). Daha ayrıntılı bir tanımla ifade edilecek olursa akıllı sözleşmeler, belirli koşullar sağlandığında istenen işlemi kodlar ile otomatik olarak gerçekleştiren ve blokzincir içinde depolanan programlar olarak tanımlanabilir (IBM, 2022). Akıllı sözleşmelerin gerçek dünyadaki sözleşmelerden farkı, bir kâğıda yazılı halde değil de kodlarla yazılmış olmasıdır. Akıllı sözleşmelerde basit “if-then” kodları kullanılmaktadır. Bu kodlar, bir olayın gerçekleştirilmesini şartlara bağlayarak istenen şartlar elde edildiğinde işlemi otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Akıllı sözleşmelerin kod halinde yazılması işlemleri otomatize ederek araçları ortadan kaldırmakta, böylece verimlilik ve güvenilirlik sağlamaktadır (Khan vd., 2021; IBM, 2022). Blokzincirin değişmez veri kaydı ve merkeziyetsiz depolama özellikleri sayesinde blokzincire depolanan akıllı sözleşmeler, şeffaf, değiştirilemez ve güvenilir hale gelmektedirler. Akıllı sözleşmelerin yapısı ve blokzincir teknolojisi sayesinde işlemler üçüncü tarafa gerek kalmadan güvenli ve otomatik olarak gerçekleştirilmektedir (Mohanta vd., 2018). Bu nedenle blokzincir akıllı sözleşmeler için son derece uygun bir teknolojidir. Nitekim akıllı sözleşmeler Blokzincir 2.0 versiyonunun ortaya çıkmasını sağlamıştır (Tanrıverdi vd., 2019). Şekil 14'te geleneksel ve akıllı sözleşmelerin işleyiş süreci gösterilmektedir.



Şekil 14. Geleneksel ve akıllı sözleşmelerin işleyiş süreci (Baygın, 2022).

Akıllı sözleşmelerin yapısında değer, adres, bir dizi yürütülebilir fonksiyon ve belirlenen durum değişkenleri yani şartlar bulunmaktadır (Mohanta vd., 2018; Tanrıverdi vd., 2019). İşlemler, sözleşmedeki fonksiyonların çalışması için gereken girdilerdir ve akıllı sözleşmeler, işleme karşılık gelen kodu yürütür ve olayları tetikleyerek çıktıları oluşturur. Akıllı sözleşmedeki durum değişkenleri, uygulama mantığına bağlı olarak değişmektedir (Bahga ve Madsetti, 2016; Mohanta vd., 2018). Önceden belirlenen durumların oluşması yani şartların yerine getirilmesiyle ilgili fonksiyonlar tetiklenmekte ve sözleşme gerekleri otomatik olarak yerine getirilmektedir (Tanrıverdi vd., 2019). Akıllı sözleşmeler, Solidity, Python vb. kodlama dillerinde yazılmaktadır. Akıllı sözleşmelerin yapısı Şekil 15'te gösterilmektedir. Her akıllı sözleşme için eşsiz bir adres tanımlanmakta ve tanımlanan bu adres, blokzincirde depolanarak akıllı anlaşma güvenilir hale getirilmektedir (Bahga ve Madsetti, 2016).



Şekil 15. Akıllı sözleşmelerin yapısı (Bahga ve Madsetti, 2016; Kaynak, 2020).

Blokzincir tabanlı akıllı sözleşmeler, blokzincirinde bulunan ve işlemleri yürütme yeteneğine sahip komut dizileridir (Mohanta vd., 2018). Olay odaklı olan akıllı sözleşmeler, blokzincirde dağıtık olarak depolanan, çoğaltılan ve okunan kod parçalarıdır. Akıllı sözleşmeler oluşturulurken belirlenen şartlar gerçekleştiğinde otomatik olarak çalışmaktadır ve bu sözleşmeler merkezi otoriteden bağımsızdır (Tanrıverdi vd., 2019). Akıllı sözleşmeler işlemleri otomatik olarak gerçekleştirerek süreçte verimlilik sağlar ve aracılıları ortadan kaldırdığı için zamanda ve maliyette verimlilik sağlamaktadır (Kaynak, 2020). Konunun daha iyi

anlaşılabilmesi için akıllı sözleşmelerin işleyiş süreci adım adım anlatılacaktır. Öncelikle sözleşmeyi gerçekleştirecek taraflar istedikleri sonuçları, iş süreçlerini ve varlıkları içeren bir anlaşma tanımlamaktadır. 2. adımda, sonuçların hangi durumlarda oluşabileceğini belirleyen koşullar belirlenmektedir. 3. adımda ise koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak yürütülecek kodlar yazılmaktadır. 4. ve son adımda ise kodlar blokzincire eklenmekte, sözleşme eşler arasında onaylanmakta ve sözleşme, koşullara bağlı olarak otomatik yürütülmektedir. Şekil 16'da akıllı sözleşme süreci gösterilmektedir.



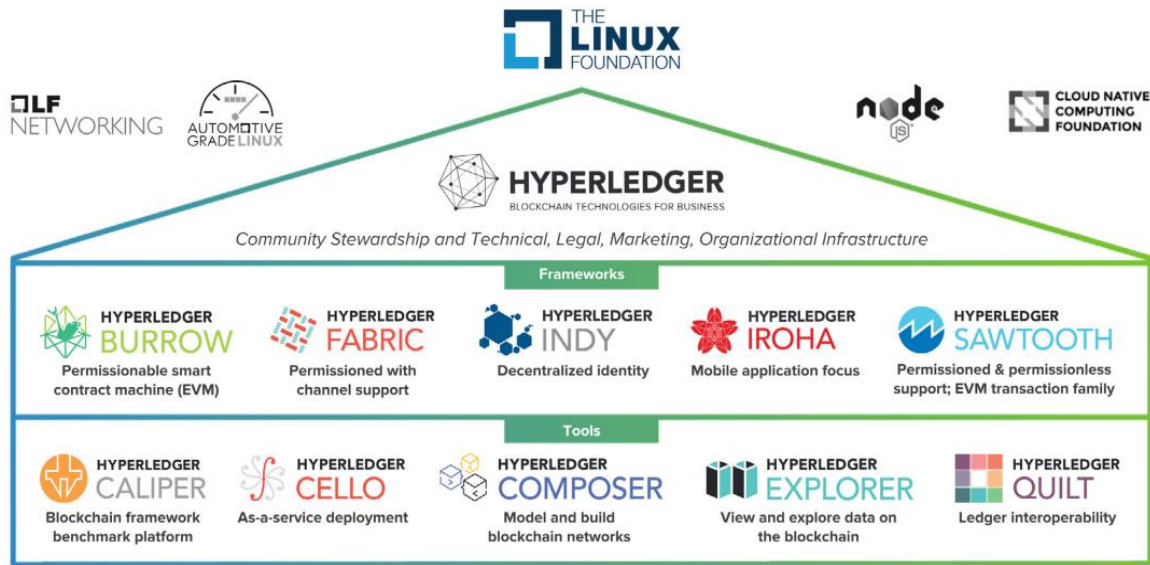
Şekil 16. Akıllı sözleşme süreci (Baygın, 2022).

Vitalik Buterin tarafından geliştirilen Ethereum, akıllı sözleşmeleri destekleyen blokzincir uygulamasıdır ve akıllı sözleşmelerin geliştirilmesine büyük katkı sağlamıştır (Kaynak, 2020). Akıllı sözleşmeler; sağlık, sigorta, finans, gayrimenkul, telif hakları, tedarik zinciri gibi birçok alanda uygulanmaktadır (Mohanta vd., 2018). Akıllı sözleşmeler koşullar yerine getirildiğinde otomatik olarak yürütülmektedir ve evrak işi yoktur. Böylece belgelerin elle doldurulmasından kaynaklanan hataları ortadan kaldırır, süreci hızlı, verimli ve güvenilir şekilde yürütmeyi sağlar. Üçüncü taraf olmadığından ve işlem kayıtları kullanıcılar arasında paylaşıldığından, bilgiler kişisel çıkarlar için değiştirilemez. Bu durum her iki tarafa da güven ve şeffaflık sağlamaktadır. Nitekim akıllı sözleşmelerin blokzincire depolanması ve blokzincirin dağıtılmış ve değişmez veri kaydı sayesinde güvenlik sağlanmaktadır (IBM,2022).

Hyperledger

İlk geliştirilen blokzincir ağları, herkesin ağa katılabileceği ve ağdaki verileri okuyabileceği halka açık yapıdadır. Fakat blokzincirin sağladığı avantajlardan yararlanmak isteyen iş dünyası için gizlilik esastır. Bu durum, gizli blokzincir ihtiyacını doğurmuştur. Ticari alanlarda ihtiyaç duyulan gizliliği kullanıcılarına tam manasıyla sunamayan Ethereum veya

Bitcoin gibi herkese açık blok zincir türleri yeni bir blokzincir ihtiyacını doğurmuştur. Bunun üzerine ise Linux Vakfı gibi pek çok kuruluşun girişimi ile akıllı sözleşmelerin kullanıldığı, ticari düzeyde açık kaynaklı blokzincir ağı olan Hyperledger projesi geliştirilmiştir. Hyperledger sayesinde kurumlar kendilerine ait hızlı, yüksek performanslı ve ölçeklendirilebilir blok zinciri ağları oluşturabilmektedirler. Şekil'17 gösterilen, modüler bir sistem tasarımına sahip olan Hyperledger çatısı altında Burrow, Fabric, Grid, Indy, Iroha, Sawtooth, Composer, Besu vb. 12 farklı proje araçları bulunmakla beraber diğer projelerden farklı olarak sağladığı gizlilik, modüler yapı, endüstri kullanımını sağlayarak bu çalışmanın kapsamına uygun olduğu için sadece Hyperledger Fabric çerçevesi üzerinde durulacaktır (Cachin, 2016; Aggarwal ve Kumar, 2021 Hyperledger Fabric, 2023).



Şekil 17. Hyperledger Çatısı (Hyperledger, 2023)

Hyperledger Fabric

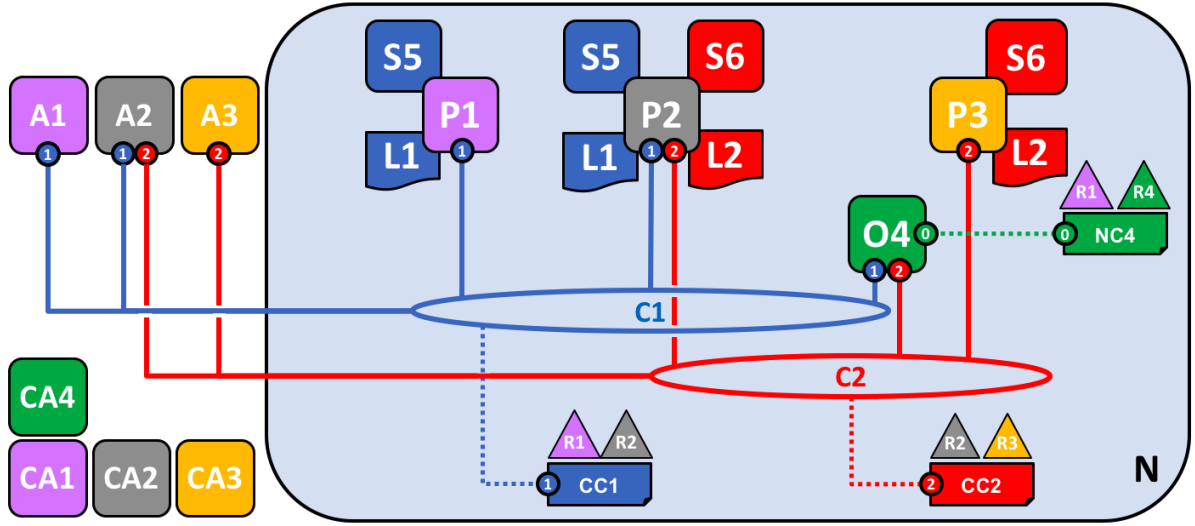
Bilindiği üzere blokzincir teknolojisinin herkese açık, özel, konsorsiyum olmak üzere üç türü mevcuttur. Hyperledger teknolojisinde bu üç türden konsorsiyum türü esas alınmaktadır. Diğer blokzincir teknolojileri gibi belirli bir kayıt defteri olan, akıllı sözleşmelerle bir anlaşma zemini hazırlayan ve katılımcıların yönettiği bir sistem bütünü olan Hyperledger Fabric blokzincirini diğerlerinden farklı kılan yönü sistemin özel (private) ve sadece izin verilen katılımcıların dâhil olabildiği blokzincir uygulama sistemi olmasıdır (Hyperledger, 2023) Bu açıdan Fabric, açık ve izin gerektirmeyen bir sistem yerine; özel işlemleri ve gizli sözleşmeleri destekleyen ölçeklenebilir ve güvenli bir platform sunmaktadır. Bu mimari Fabric ile geliştirilen çözümlerin herhangi bir sektöre uyarlanmasına izin vererek işletmeler için yeni bir güven, şeffaflık ve hesap verebilirlik alanı sunmaktadır (Hyperledger, 2023). Diğer taraftan Hyperledger Fabric, defter verilerini birden fazla formatta saklayabilme veya bir grup

katılımcının ayrı bir işlem defteri oluşturmaya izin veren kanallar oluşturabilme yeteneği ile söz konusu bilgilerle ilgisi olmayan kişilerden işlemlerin gizlenebileceği bir sistem sunmaktadır. Bu yönüyle Hyperledger Fabric, gizliliği koruma noktasında ileri düzeyde performans sağlayan önemli bir mutabakat zemini sunmaktadır (Cachin, 2016; Xu vd. 2021; Hyperledger, 2023).

Özel ve sadece izin verilen katılımcıların dahil olabildiği bir blokzincir uygulaması olan Hyperledger Fabric, bu yönüyle sisteme giriş çıkışların kontrol altında tutulduğu bir yapı sunmaktadır. Bu sayede sistem kurumsal süreçlerin blokzincir altyapısına aktarılmasında, tüm işlemlerin güvenliğinin sağlanmasında, sadece yetkili kişiler tarafından işlem süreçlerine dair veri girişi yapılmasında ve işlem sürelerinin hızlanmasında son derece önemli rol oynamaktadır (Androulaki vd., 2018; Hyperledger, 2023).

Hyperledger Fabric platformunda işlemler yürütme (execute), sipariş (order) ve onaylama (validate) olmak üzere üç aşamada tanımlanmaktadır. Öncelikle istemci tarafından onaylanacak şekilde bir işlem teklifinde bulunulur. Söz konusu teklif, onay politikasına göre belirlenen eşlere gönderilir. Bu eşler, zincir kodunun belirttiği kurallara dahilinde işlem teklifini yürütür ve istemci sistemde tanımlanan yeterli onay sonuçlarını aldıktan sonra sipariş hizmetine (ordering service) işlemi göndermektedir. Tüm bunları takiben işlemler gossip protokolü ile bütün eşlere yayınlanır ve bütün eşler bloklar içinde tanımlanan işlemler doğrulanır ve defter durumu güncellenir (Androulaki vd., 2018; Aggarwal ve Kumar, 2021; Xu vd. 2021). Şekil 18’de Hyperledger Fabric mimarisi gösterilmektedir.

Hyperledger Fabric, bir iş ağının farklı ihtiyaçlarına uygun blokzincir sistemlerinin sağlam bir şekilde geliştirilmesine olanak tanıyan işbirlikçi ve açık kaynaklı açık kaynak bir projedir. Hyperledger Fabric; finans, sağlık, sigorta ve tedarik zinciri gibi birçok alana kolayca uygulanmasını sağlamaktadır (Cachin, 2016).



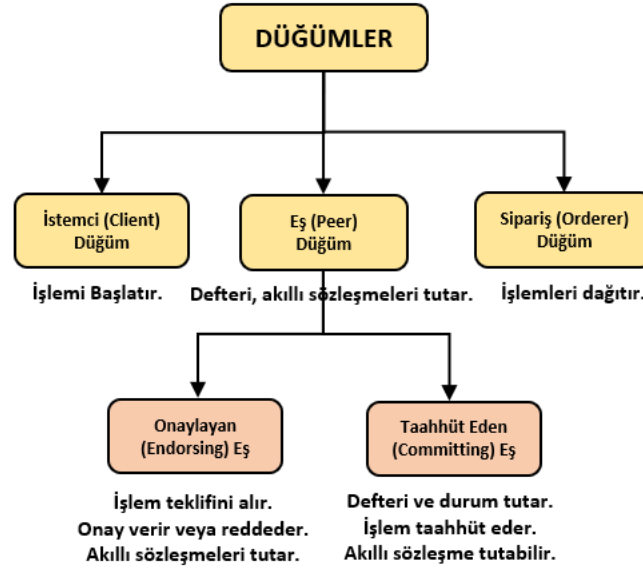
Şekil 18.Üç Organizasyonlu Hyperledger Fabric Mimarisi (Hyperledger, 2023)

Hyperledger Fabric bileşenleri

Hyperledger Fabric, uygulamalara ve yöneticilere blokzincir hizmeti sağlamak için gereken teknik altyapıyı sunmaktadır. Bu platformda oluşturulan ağ, iki veya daha fazla kuruluş veya grubun bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Hyperledger Fabric teknolojisinin fiziksel altyapısını kurmak için hangi sistem bileşenlerinin gerekli olduğunu en öz haliyle ifade etmekte fayda olduğu kanaatindeyiz.

Varlıklar: Ağ katılımcıları ile takas edilen ve parasal değeri olan ağdaki somut ya da soyut her türlü mal Hyperledger’da bir varlık olarak değerlendirilir. Bu bir meyve veya kahve çekirdeği yahut ev-araba gibi somut mallar olabileceği gibi fikri mülkiyet hakları gibi soyut kıymet ifade eden mallar da olabilir. İkili ve/veya JSON biçiminde temsil edilebilen varlıklar, Hyperledger Fabric’te bir anahtar/değer çiftleri koleksiyonu olarak temsil edilir ve durum değişiklikleri bir kanal defterinde işlem olarak kaydedilir (Hyperledger, 2023).

Düğümmler: Fabric blokzinciri, müşteri (client), eş (peer) ve sipariş veren (orderer) olmak üzere üç rolden birini üstlenen üç tür düğümden oluşur. İstemci (client), işlem teklifinde bulunan düğümü ifade ederken peer, blokzincir defterini ve akıllı sözleşmeleri karma zincir biçiminde tutar ve mevcut durumu bir anahtar/değer deposuyla kaydeder. Defter ve akıllı sözleşmeleri bünyesinde bulundurduğu için blokzincir ağının temel unsuru olan Eşler (peers), onaylayan (endorser) ve taahhüt eden (committer) olmak üzere iki türdür. Onaylayan (endorser), işlem tekliflerini zincir kodu aracılığıyla onaylayan, taahhüt eden (committer) ise işlemleri onaylayan ve bu onaylanan işlemlerin deftere kaydedilmesini sağlayan eş olarak tanımlanabilir. Üçüncü düğüm müşteri (orderer) ise sipariş hizmetlerinin belirli konsensus mekanizmalarıyla uygulanmasını sağlayan düğümdür. Düğümlerin ve eşlerin yapısı, görevleri Şekil 19’da verilmiştir (Androulaki vd., 2018; Aggarwal ve Kumar, 2021; Hyperledger, 2023).



Şekil 19. Düğümler ve Eşler (Aggarwal ve Kumar, 2021)

Onay Politikası (Endorsement Policy): Bir işlemin geçerli olması için onaylaması gereken en küçük kuruluş grubunu tanımlar. Onaylamak için, bir kuruluşun onaylayan eşinin işlemle ilişkili akıllı sözleşmeyi çalıştırması ve imzalaması gerekir. İşlemler, yalnızca onay politikasına dayalı olarak belirlenen emsaller tarafından uygun şekilde onaylanırsa geçerli olarak işaretlenir. Bu politikalar “VE” ve “VEYA” gibi monoton mantıksal ifadelerden oluşur. (Xu vd. 2021; Hyperledger, 2023).

Kayıt Defteri: Hyperledger Fabric’te bir defter “transaction log” ve “world state” adında iki bölümden oluşur. World state, dağıtılmış defterde mevcut bulunan verilerin son ve anlık değerlerini muhafaza eden bir veri tabanı olarak çalışır ve dağıtılmış defterde oluşan anahtar/değer çiftlerinin son halini kaydeder. İkinci bölüm transaction log kısmı ise world state’deki tüm işlemleri ve değişiklikleri bir hash zinciri ile kaydeden bir veri tabanı olarak görev yapar. World state kısmına eklenen her veri ve yapılan işlemleri kaydeder ve bu bilgiler değiştirilemez, transaction log kısmını “world state” kısmından ayıran fark da budur. Eşler işlemleri belirli bir onay politikasına göre kurallı bir şekilde doğrulamaktadır. Defterin sorgulanması ve güncellenmesi ise sıralı anahtar tabanlı aramalar, sorgulamalar ve birleşik sorgularla yapılmaktadır (Hyperledger, 2023).

Zincir Kodu: Bir varlığı veya varlıkları değiştirmek için yapılacak olan işlem talimatlarını tanımlayan bir kodlardır. İşlemlerin ve anahtar/değer çiftlerinin oluşturulması, veri tabanı bilgilerinin okunması veya değiştirilmesini sağlar. Akıllı sözleşmeler, Fabric blozincirindeki zincir kodunun içinde bulunur ve Go, Java, JavaScript, Python gibi programlama dillerinde yazılır. Zincir kodu işlevleri, defterin mevcut durum veri tabanına karşı yürütülür ve ancak bir işlem teklifiyle başlatılabilir. Zincir kod yürütme, ağa gönderilebilen ve

tüm eşlerde deftere uygulanabilen bir dizi anahtar/değer yazması (yazma kümesi) ile sonuçlanır (Xu vd. 2021; Hyperledger, 2023).

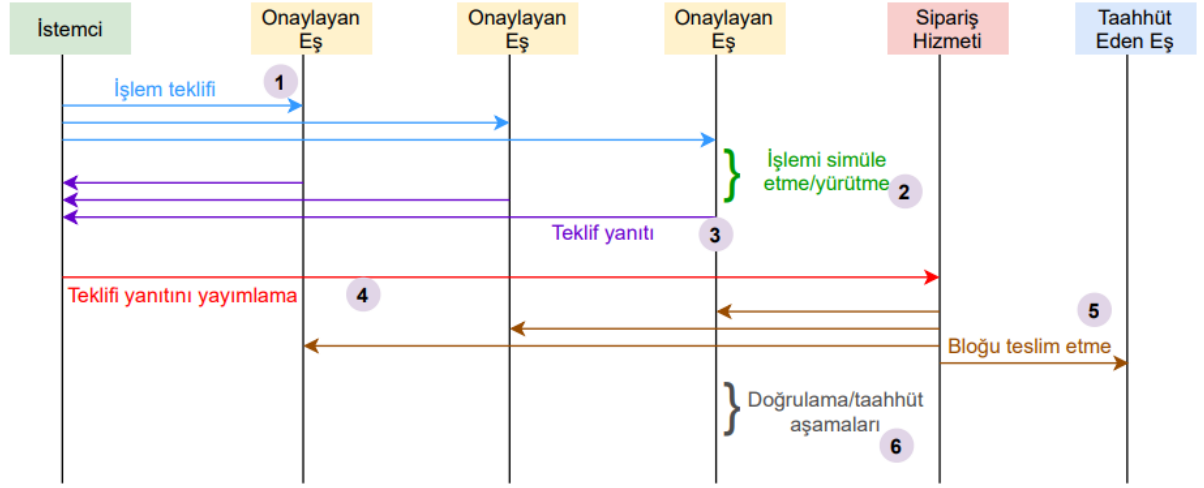
Kanal: Hyperledger Fabric’te kanal, belirli ağ üyelerinin bir konsensüs (fikir birliği) etrafında bir araya gelebildiği yapıdır. Bu sistemte her kanal, bir grup eşin kendi aralarında bir iletişim kurmasını ve tamamen ayrı bir defter oluşturmaya izin verir. Örneğin ticari işlemleri özel olarak yürütmek isteyen kuruluşların bir alt kısmı, ayrı bir kanal oluşturarak bir başka bölüm defteri tutabilir. Bir kuruluş, farklı bir amaç için aynı anda birden fazla kanal da kullanabilir. Bu da ağdaki her bir işlemin muhatabı ile ve gizlilik içinde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu yönü Hyperledger’i klasik blokzincir teknolojisinden ayırmaktadır (Aggarwal ve Kumar, 2021; Xu vd. 2021; Hyperledger, 2023).

Üyelik Hizmeti Sağlayıcısı: Hyperledger Fabric, tüm katılımcıların bilinen kimliklerine sahip olunan bir işlem ağı ile yönetilmektedir. Sertifika yetkilisi tarafından verilen, katılımcıları tanımlayan dijital kimlikler bir üyelik hizmet sağlayıcısı aracılığıyla dijital sertifikaları yönetmekte, sertifikalara roller atamakta, sertifikaların izinlerini belirlemektedir. Ortak Anahtar Altyapısı, kuruluşlara, ağ bileşenlerine ve son kullanıcılara veya istemci uygulamalarına bağlı kriptografik sertifikalar oluşturmak için kullanılmaktadır. Böylece sistemin güvenliği kriptografik sertifikalarla oluşturulan üyelikler ve kanallarla sağlanmaktadır (Hyperledger, 2023).

Uzlaşma: Hyperledger Fabric teknolojisinde uzlaşma yalnızca üzerinde anlaşmaya varılan bir dizi işlem sırası ile sınırlı olmanın ötesinde bir işlemin tekliften taahhüde kadarki yolculuğu sırasında gerçekleşen devam eden kapsayıcı doğrulamaları ifade eder. Bir diğer ifadeyle uzlaşma yahut fikir birliği, tekliften onaya; sipariştten doğrulama ve taahhüde kadarki tüm işlem akışını ifade eder. Onay ve fikir birliği politikasına göre bir bloktaki sıralı işlem seti doğruluğunun teyidi için önce akıllı sözleşme katmanına aktarılır; doğruluk akıllı sözleşme ile kabul edilir ve önerilen bloktaki tüm işlemlerin doğruluğu onaylanır (Hyperledger, 2023).

İşlem Akışı: Hyperledger Fabric işlem akışının ilk adımında istemci (client), istemci uygulamasını kullanarak bir dizi onaylayıcıya (endorsera) kimliğiyle imzalanan bir işlem tekliflerini gönderir. Onaylayan eşler (endorser) gönderen istemcinin kimliğini, yetkisini, işlem teklifinin uygunluğunu doğrularlar ve teklife uygun, yüklenmiş bir zincir koduyla işlemi yürütür. İşlem eğer onaylanacaksa onaylayıcılar kriptografik olarak imzalar ve bunları bir teklif yanıtıyla istemciye (cliente) geri gönderir. Eğer işlem teklifi bir sorgulama teklifi ise veriler istemciye ulaşır fakat teklif defteri güncellemek ise işlem devam eder. İstemci uygulama aracılığı ile işlemleri sipariş hizmetine yayınlamaktadır. Bu işlem, okuma\yazma setini (RW), işlem meta verilerini, işlem yükünü, bir dizi onayı ve kanal kimliğini ihtiva eder. Sipariş hizmeti

işlemlerin içeriğini incelemeyiz, yalnızca kanaldaki tüm işlemleri sırayla sipariş ederek işlem bloğunu oluşturur. Bloklar Gossip Protokolü aracılığıyla eşlere teslim edilir. Taahhüt eden eşler (committer) ve onaylayan eşler (endorser) teslim edilen blokları alır ve kodları çözerler. Ardından, bir bloktaki tüm işlemler Doğrulama Sistemi Zincir Kodu'ndan geçer ve son olarak Çok Sürümlü Eşzamanlılık Kontrolü doğrulaması gerçekleştirilerek işlem doğrulaması tamamlanmaktadır (Aggarwal ve Kumar, 2021; Xu vd. 2021; Hyperledger, 2023). Şekil 20'de Hyperledger Fabric işlem akışı gösterilmektedir.

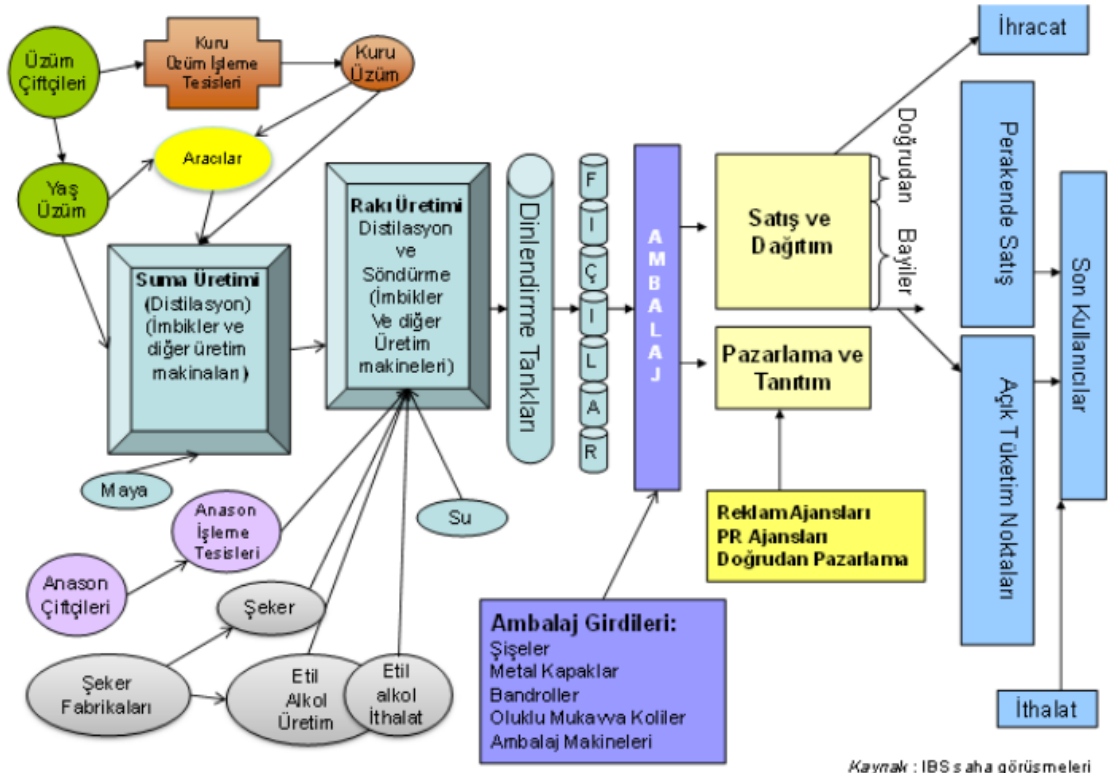


Şekil 20. İşlem Akışı (Baygın, 2022)

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

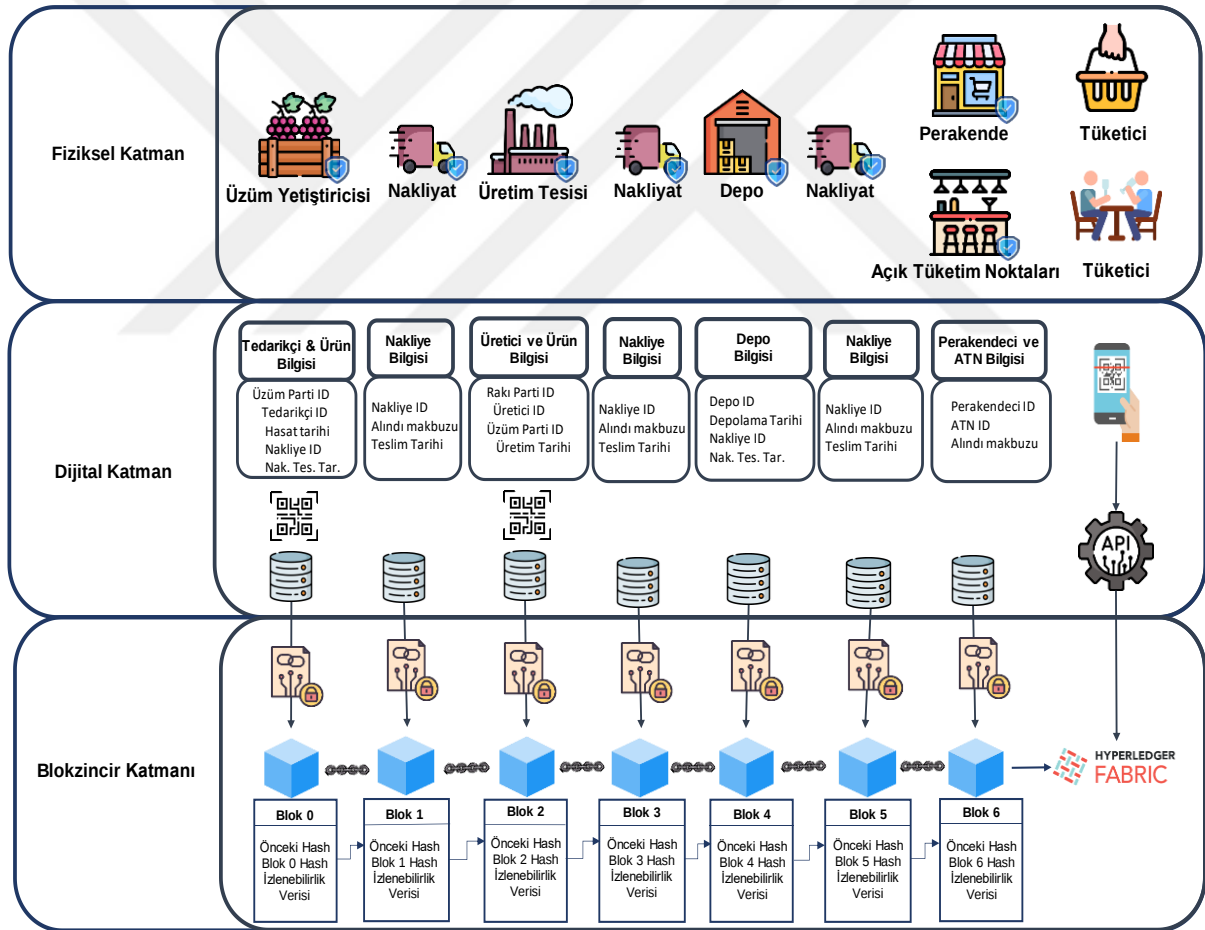
Bu bölümde öncelikle, rakının mevcut tedarik zinciri hakkında bilgi verilmiş, uygulamada yararlanılan teknolojiler hakkında teorik arka plan oluşturulup önerilen mimari detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra gerçekleştirilen mimari bileşenleri, mimari tasarım detayları, akıllanlatılmıştır. Son olarak önerilen izlenebilirlik mimarisinin Hyperledger Fabric çerçevesinde uygulaması ve işlem akışı gösterilmiş ve açıklanmıştır.

Rakı tedarik zinciri rakının hammadde olan anason, yaş ve kuru üzümün vd. bileşenlerin rakı üretim tesis tarafından tedarik edilmesiyle başlamaktadır. Bu çalışmada hammadde olarak yaş üzüm ele alınmaktadır. Çiftçi yetiştirdiği üzümleri nakliye ile rakı üretim tesisine göndermektedir. Hammadde tedariki gerçekleştirildikten sonra rakı üretimi yapılmakta sonrasında üretilen rakı şişelenmektedir. Ürün orijinallliğini sağlamak için şişeler bandrol, barkod vb. etiketlerle etiketlenmektedir. Şişe rakılar koliler halinde nakliye ile perakende satış noktalarına ve otel-restoran gibi açık tüketim noktalarına dağıtılmaktadır. Tüketici bu noktalardan rakıyı temin etmektedir. Mevcut rakı değer zinciri ve üretim süreci Şekil 21’de gösterilmektedir. Mevcut sistemde rakının üstüne etiketlenmiş olan etiketler sahteciler tarafından taklit edilebilmekte, boş şişeler sahteciler tarafından yeniden doldurulmakta ve sahte ürünler tedarik zincirindeki gerçek ürünlerin arasına kolayca sızdırılabilmektedir.



Şekil 21. Rakı değer zinciri ve üretim süreci (Gisder, 2016).

Bu çalışmada, mevcut sistemdeki sahtecilik problemiyle mücadele edebilmek için tüketicilerin, ürünün menşesine kadarki süreci şeffaf olarak görebildikleri geriye doğru izlenebilirlik sistem mimarisi önerilmektedir. Önerilen sistem mimarisinde, ürünün izlenebilirliğini sağlamak amacıyla QR kod, akıllı sözleşmeler ve dağıtık veri depolama teknolojisi olan blokzincir kullanılmaktadır. Rakı şişelerinin üzerine etiketlenen QR kod ile tüketici veya paydaşlar blokzincire erişim sağlamakta, akıllı sözleşmeler ile otomatik olarak izlenebilirlik sağlanırken blok zincirin merkeziyetsiz veri depolama yapısı ve fikir birliği yapısı ile değiştirilemez veriler elde edilmektedir. Önerilen sistem mimarisinde, tedarik zincirine uygun ve kullanım kolaylığı sebebiyle Hyperledger Fabric çerçevesi kullanılmaktadır. Blokzincir tabanlı sistem mimarisini açıklayan Şekil 22’ de önerilen blokzincir tabanlı sistem mimarisi gösterilmektedir. Mimaride üç katman, tedarik zinciri paydaşları ve izlenebilirlik için kullanılacak veriler bulunmaktadır. Bu bileşenler aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 22. Blokzincir tabanlı rakı izlenebilirlik mimarisi

- **Fiziksel katman:** Tedarik zincirinde fiziksel faaliyetlerin gerçekleştiği katmandır.
- **Dijital katman:** İzlenebilirlik için kullanılacak fiziksel katmandaki ürüne ait verileri içermektedir.
- **Blok zincir katmanı:** Akıllı sözleşmeler ve veriler bu katmanda depolanmaktadır.

A. Üzüm Yetiştiricisi

Üzüm yetiştiricisi; üzümleri yetiştirir, hasat eder, üzümlere varlık kaydı akıllı sözleşmesi (VAKS) ile üzüm parti ID tanımlanır ve üzüm blokzincire kaydedilir. Tanımlanan üzüm parti ID, kasalara etiketlenen benzersiz QR koda kaydedilir. Üzümler rakı üretim tesisine gönderilmesi için nakliyeye teslim edilir. Durum güncelleme akıllı sözleşmesi (DGAS) ile dijital ortamda üzümler üzüm yetiştiricisinden nakliyeye aktarılır. İzlenebilirliği sağlamak için üzüm yetiştiricisinin blokzincire eklemesi gereken veriler; üzüm yetiştirici ID, üzüm hasat tarihidir.

B. Rakı Üretim Tesis

Rakı üreticisi üzümleri teslim alır ve DGAS ile dijital ortamda üzümlerin sahipliği nakliyeden rakı üreticisine aktarılır. Rakı üretmek için bir dizi prosedür ve işlem aşamaları gerçekleştirilir. Paketleme aşamasında her şişe benzersiz QR kodu ile etiketlenir. QR kodlar, blokzincire bağlayacak olan web adresini içerir. Üretilen rakılar, VKAS ile blok zincire kaydedilir, rakı parti ID tanımlanır. Tanımlanan rakı parti ID, kutular üzerine etiketlen QR kodlarına kaydedilir. Rakı kolileri depoya gönderilmesi için nakliyeye teslim eder ve DGAS ile dijital ortamda rakıların sahipliği rakı üreticisinden nakliyeye aktarılır. İzlenebilirliği sağlamak için rakı üreticisinin blokzincire eklemesi gereken veriler; üretici ID, üretim tarihidir.

C. Depo

Depo görevlileri rakıları teslim alır ve depolar. DGAS ile dijital ortamda rakıların sahipliği nakliyeden depoya aktarılır. Sipariş geldiğinde depo rakıları nakliyeye teslim eder ve DGAS ile dijital ortamda rakıların sahipliği depodan nakliyeye aktarılır. İzlenebilirliği sağlamak için depo görevlisinin blokzincire eklemesi gereken veriler; depo ID, depolama tarihidir.

D. Perakende veya Açık tüketim noktaları

Perakende veya açık tüketim noktalarındaki görevliler ürünleri nakliyeden teslim alır. DGAS ile dijital ortamda rakıların sahipliği nakliyeden perakende veya açık tüketim noktalarına aktarılır. İzlenebilirliği sağlamak için görevlinin blokzincire eklemesi gereken veriler; perakendeci veya açık tüketim noktası satıcı ID, teslim alma tarihidir.

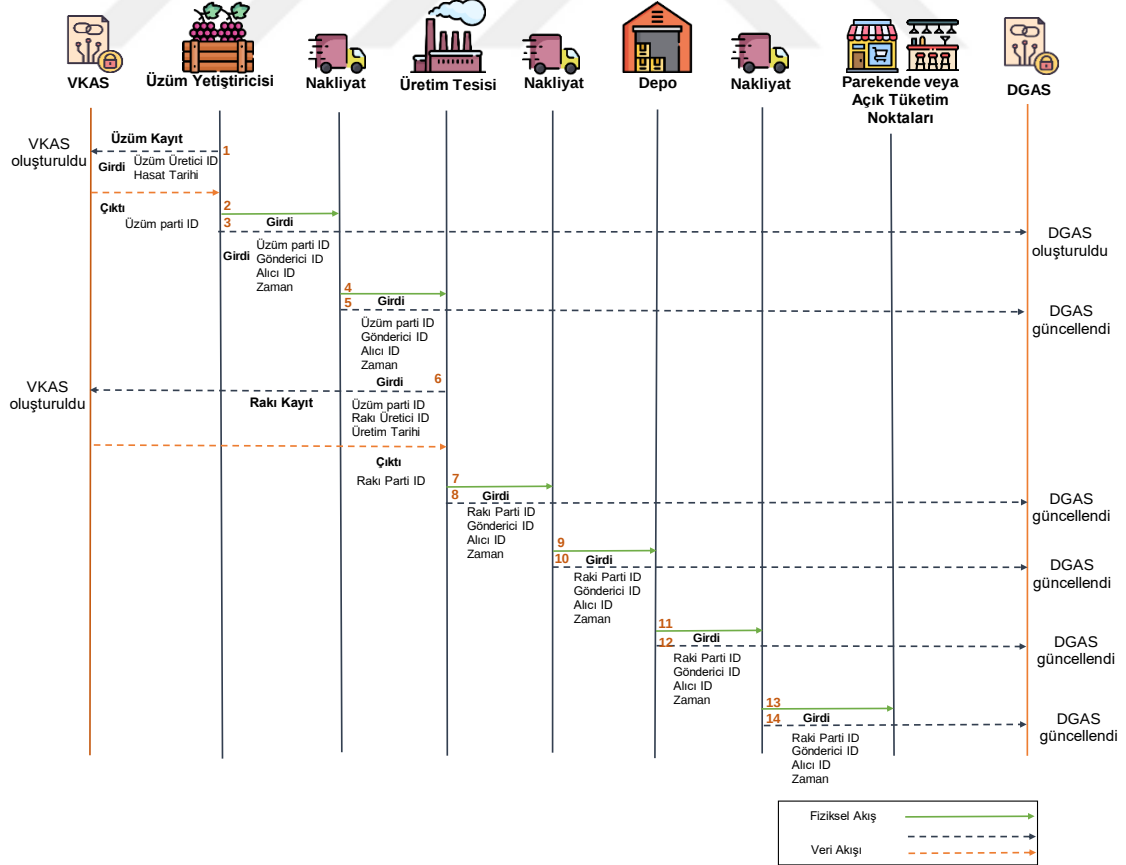
E. Nakliye

Tedarik zincirindeki her aktarım aşamasında nakliye rol alır ve görevi ürünleri bir noktadan diğer noktaya taşımaktır. İzlenebilirliği sağlamak için görevlinin blokzincire eklemesi gereken veriler; nakliye ID, teslim alma tarihi, teslimat tarihidir.

F. Tüketici

Tüketici, rakının menşei ve orijinalliğini kontrol etmek için rakı şişesinin üzerinde bulunan benzersiz QR kodunu okutur. Blokzincir ile bağlantılı olan QR kod sayesinde tüketici blokzincire yüklenen verileri görebilir ve böylece rakının geriye doğru tedarik zinciri izlenebilirliği sağlanır.

Önerilen sistem mimarisinde iki akıllı anlaşma oluşturulmuştur. Varlık Kaydı Akıllı Sözleşmesi (VKAS), fiziksel katmandaki varlıkların dijital ortamda tanımlar ve varlıklara parti ID tanımlar. Durum güncelleme akıllı sözleşmesi (DGAS), fiziksel katmandaki tedarik zinciri paydaşları arasında gerçekleşen varlık aktarımını dijital ortamda gerçekleştirmektedir. Şekil 23'te önerilen sistem mimarisinin akış diyagramı gösterilmektedir. Diyagramda tedarik zinciri paydaşları arasındaki fiziksel adımlar ve akıllı anlaşmalar ile gerçekleştirilen dijital olaylar gösterilmektedir. Önerilen sistemin adımları aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 23. Akıllı sözleşme akış diyagramı

Adım 1: Üzüm yetiştiricisi üzümleri VKAS ile dijital sisteme kaydedilir ve üzüm parti ID tanımlanır.

Adım 2: Üzüm fiziksel katmanda üzüm yetiştiricisinden nakliye aktarılır.

Adım 3: Üzüm yetiştiricisi üzümlerin aidiyetini DGAS ile dijital ortamda nakliye aktarır.

Adım 4: Üzüm fiziksel katmanda nakliyeden üreticiye aktarılır.

Adım 5: Nakliye üzümlerin aidiyetini DGAS ile dijital ortamda üreticiye aktarır.

Adım 6: Üretilen rakıları üretici VKAS ile dijital sisteme kaydedilir ve rakı parti ID tanımlanır.

Adım 7: Rakı fiziksel katmanda üreticiden nakliye aktarılır.

Adım 8: Üretici rakıların aidiyetini DGAS ile dijital ortamda nakliye aktarır.

Adım 9: Rakı fiziksel katmanda nakliyeden depoya aktarılır.

Adım 10: Nakliye rakıların aidiyetini DGAS ile dijital ortamda depoya aktarır.

Adım 11: Rakı fiziksel katmanda depodan nakliye aktarılır.

Adım 12: Depo rakıların aidiyetini DGAS ile dijital ortamda nakliye aktarır.

Adım 13: Rakı fiziksel katmanda nakliyeden perakende veya açık tüketim noktalarına aktarılır.

Adım 14: Nakliye rakıların aidiyetini DGAS ile dijital ortamda perakende veya açık tüketim noktalarına aktarır.

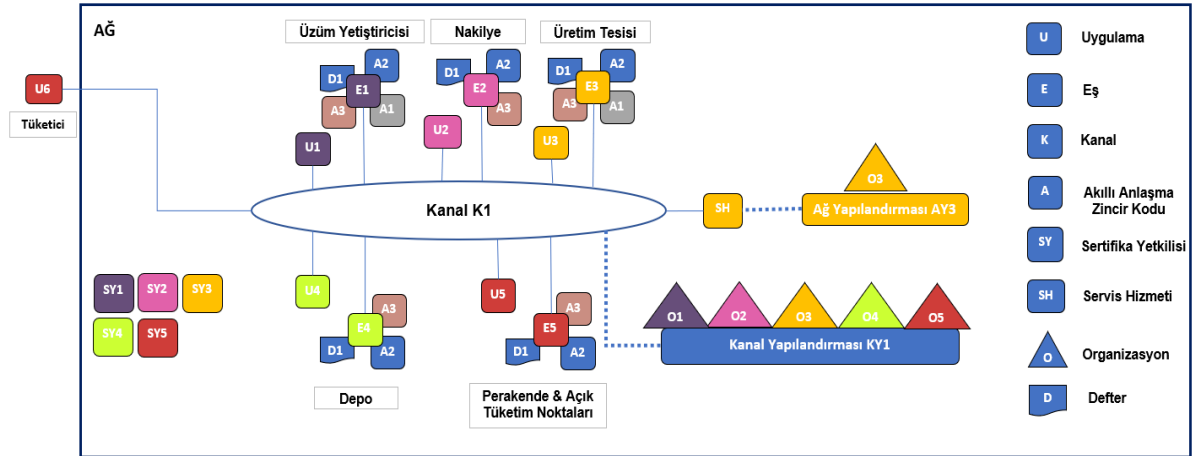
Son adımda, tüketici blokzincire depolanan verilere rakıya etiketlenen QR kod ile erişim sağlar. Tüketici sondan başa doğru tüm tedarik zinciri paydaşlarını görebilir böylece rakının izlenebilirliği sağlanır.

Hyperledger Fabric Tabanlı İzlenebilirlik Mimarisi

Bu bölümde önerilen mimarinin Hyperledger Fabric çerçevesinde uygulaması, bileşenleri ve işleyiş mekanizması açıklanmıştır.

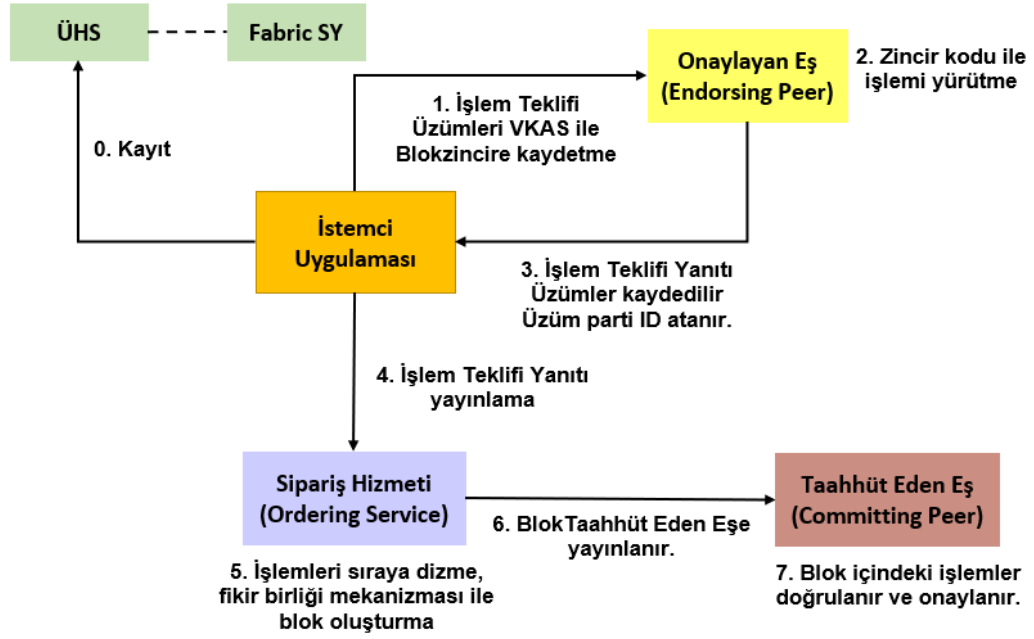
Özel ve izinli blokzincir platformu olan Hyperledger Fabric'e katılmak için her paydaş sisteme kaydolmalı, paydaşlar için dijital kimlik oluşturulmalıdır. Bu dijital kimlik, Sertifika Yetkilisi (SY) tarafından verilen kriptografi ile şifrelenmiş, genel ve özel anahtarları içeren doğrulanmış dijital sertifikalardır. Sertifika yetkilisi dijital kimlikleri dağıtırken Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (ÜHS), dijital kimliklerin sistemde işlem yapabilmek için uygun olup olmadığına karar veren, paydaşlara işlem yapabilmek için izinler ve roller atayan, izinli blokzincir ağına katılmaya izin veren mekanizmadır. Üyelik hizmet sağlayıcısı, kanal yapılandırmasının içinde bulunmaktadır.

Önerilen mimaride üzüm yetiştiricisi, üretim tesisi, nakliye, depo ve perakende & açık tüketim noktaları gibi tedarik zinciri paydaşları bir kanal oluşturmaktadır. İşlemlerin gerçekleştiği bu kanalın kurucusu, yöneticisi ve servis hizmetini sağlayan üretim tesisidir. Kanal yapılandırması tedarik zinciri paydaşlarının oluşturduğu fikir birliği mekanizması ile çalışan ve kanalı destekleyen yapıdır. Sistem 3 akıllı sözleşmeden oluşmaktadır. A1: Varlık kaydı akıllı sözleşmesini temsil eder ve sadece üzüm yetiştiricisi ve üretim tesisi tarafından kullanılır, A2: Durum güncelleme akıllı sözleşmesini temsil eder ve tüm tedarik zinciri paydaşları tarafından kullanılır, A3 ise ağa katılım kurallarını belirleyen akıllı sözleşmedir ve tüm paydaşlar tarafından kullanılmaktadır. Uygulama ile tedarik zinciri paydaşları ve tüketici ağ ile etikileşime geçebilirler, işlem talebinde bulununabilirler. Tüketici perakendeci & açık tüketim noktalarının bulunduğu peer üezrinden sertifika 5'i kullanarak ağa erişim sağlamaktadır. Eşler defteri ve akıllı sözleşmeleri kendi bünyelerinde tutan mekanizmalardır. Şekil 24'te Hyperledger Fabric çerçevesi kullanılarak izlenebilirlik mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 24. İzlenebilirlik için Hyperledger Fabric Mimarisi

Önerilen mimarinin Hyperledger Fabric'te işleyişini kavrayabilmek adına bir işlem için iş akışı örneği verilmektedir. Verilen bu örnek akış Şekil 25'teki şemada gösterilmektedir.



Şekil 25. Hyperledger Fabric örnek işlem akış şeması

Adım 1: Üzüm yetiştiricisi üzümleri blokzincire kaydetmek için Fabric uygulaması ile imzalı işlem teklifi göndererek işlem başlatır.

Adım 2: İşlem teklifi kanaldaki diğer paydaşların onaylama (endorsing peer) eşlerine gönderilir. İşlem teklifi formatı, imza, istemci yetkisi gibi kıssaslar göz önüne alınarak zincir kodu yürütülür, istenen işlem gerçekleşir yani bu senaryoda üzüm kaydedilir ve üzüm parti ID atanır. Defterdeki dünya durumunda zincir kodu okuma\ yazma seti olarak işlem teklifi yanıtı oluşturur ve bu yanıt onaylayan eşin imzası ile istemciye gönderilir. Defterde herhangi bir güncelleme yapılmaz.

Adım 3: Uygulamaya gönderilen işlem yanıtındaki onaylayan eş imzası uygulama tarafından doğrulanır. İstemci uygulaması işlem yanıtlarını işlem mesajı olarak sipariş hizmetine yayımlar.

Adım 4: Sipariş hizmeti (ordering service), işlemin deftere kaydolması için onaylanan işlemi fikri birliği mekanizmasından yararlanarak sipariş eder, işlemleri sıraya dizer, kanala eklenecek yeni bloğu oluşturur.

Adım 5: Sipariş hizmeti oluşturduğu bloğu tüm ağdaki taahhüt eden (committing peer) eşlere yayımlar. Taahhüt eden eşler, onay politikasına (endorsement policy) göre işlemleri kontrol eder ve işlemleri doğrular. İşlemler deftere kaydedilir ve dünya durumunda gerçekleştirilir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, sosyal, ekonomik ve sağlık açısından pek çok zararı olan gıda sahteciliğinin bir alt dalı konumundaki rakı sahteciliğine dikkat çekilmiş ve bununla mücadele etmek için tedarik zinciri izlenebilirliğinin sağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç doğrultusunda hammaddeden nihai ürünlere ve son olarak tüketicilere kadar ürünlerin üretilmesi ve dağıtılmasıyla ilgili tüm süreçlerin bağlantısı olarak ifade edilen izlenebilirlik için hangi teknolojilerin gerekli olduğu ve sistemin nasıl çalışması gerektiği analiz edildikten sonra blokzincir tabanlı tedarik zinciri sistem mimarisi tasarlanmıştır. Tasarlanan mimaride QR kod, blokzincir teknolojisi olan Hyperledger Fabric çerçevesi, akıllı sözleşmeler kullanılmış ve bu metodoloji ve teknolojik araçlar açıklanmıştır. Sonrasında söz konusu sistem mimarisinin bileşenleri ve işleyişi açıklanmıştır.

Mevcut tedarik zinciri birçok paydaş içermektedir ve paydaşlar arasında tam anlamıyla şeffaf bilgi aktarımı olmadığından dolayı tedarik zincirinde bilgi asimetrisi mevcuttur. Bu durum rakıların orijinallliğini korumayarak, tüketicilere ve rakı pazarına zarar veren rakı sahteciliğine neden olabilmektedir. Tasarlanan sistem mimarisiyle üretilen ürünlerin (rakıların), hammadde tedarikçisinden perakendecisine kadarki tüm sürecine şeffaflık ve izlenebilirlik sağlamak için fiziksel akıştaki katma değeri olan veriler ve işlemler bloklara kaydedilmektedir. Fiziksel ortamdaki varlıklar akıllı sözleşmelerle tanımlanmakta ve izlenebilirliği yine akıllı sözleşmelerle gerçekleştirilmektedir. Mimarinin yapısında iki akıllı sözleşme bulunmaktadır. Bu sözleşmelerden ilki Varlık Kaydı Akıllı Sözleşmesi (VKAS), fiziksel katmandaki varlıkların dijital ortamda tanımlanmasını ve varlıklara parti ID atamasını sağlarken ikinci akıllı sözleşme olan Durum Güncelleme Akıllı Sözleşmesi (DGAS) ile fiziksel katmandaki tedarik zinciri paydaşları arasında gerçekleşen varlık aktarımının dijital ortamda gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Yine bu sisteme entegre edilen ve rakı şişelerine etiketlenen benzersiz QR kodları ile blokzincir katmanına erişim sağlanmaktadır.

Blokzincir teknolojisi olarak Hyperledger Fabric çerçevesinden yararlanılmıştır. Bu çerçevenin özel ve izinli blokzincir yapısına sahip oluşuyla ve iki veya daha fazla organizasyon arasında oluşturulan kanal yapısı ile fiyat, ürün ayrıntıları gibi hassas bilgilerin korunmasıyla tedarik zincirinde veri gizliliği sağlanmaktadır. Nitekim modüler ve tak çalıştır özellikleri mimari kurulumuna kolaylık sağlamaktadır. Yine Hyperledger Fabric'in yapısında bulunan Sertifika Yetkilisi ve Üyelik Hizmet Sözleşmesi (ÜHS) ile ağa katılmak isteyen paydaşlar sisteme kaydolurlar, bu mekanizma mimariye güvenlik, güvenilirlik sağlamaktadır.

Tasarlanan blokzincir tabanlı sistem mimarisinde tüm tedarik zinciri süreci izlenebilirliği için akıllı sözleşmeler ve üretim süreci bilgileri paydaşlar tarafından blokzincire kaydedilmektedir. Blokzincir yapısı gereğince bilgiler şifrelenmekte, doğrulanmakta, değişmez ve dağıtık olarak tüm tedarik zinciri paydaşlarında depolanmaktadır. Tüketiciler ise rakı şişesine etiketlenmiş QR kod aracılığı ile blokzincire erişim sağlayabilmektedir. Böylece paydaşlar ve tüketiciler, rakının menşeyini, kalitesini ve orijinalliyini şeffaflığı sağlanan verilere ulaşarak öğrenebileceklerdir. Bu bağlamda önerilen sistem mimarisinin rakıda yapılan sahtecilikle mücadele etme noktasında etkili bir çözüm olacağı öngörülmektedir.

Yapılan çalışmada rakı tedarik zinciri izlenebilirliği için blokzincirin nasıl kullanılabileceği ve uygulanabileceğine açıklık getirilmiş ve tasarlanan sistem mimarisiyle kavramsal yapı sağlanmıştır. Blokzincire depolanan veriler hiçbir surette değiştirilemeyeceğinden veya silinemeyeceğinden ötürü sistem son derece güvenilirdir. Bu bağlamda QR kod, blokzincir ve akıllı sözleşmelerin kullanıldığı mimari, verimlilik, etkinlik ve izlenebilirlik açılarından rakı tedarik zincirinin her bir paydaşı için potansiyel faydalar sağladığı ve blokzincirin, sağlık, ekonomik ve sosyal alanlarda büyük olumsuz sonuçları olan rakı tedarik zinciri sahteciliğiyle mücadele etmek için etkin bir teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır. Söz konusu teknolojilerin kullanılmasıyla oluşturulacak bir tedarik zinciri izlenebilirlik uygulamasında ürünlerin tedarik zinciri boyunca izlenebilirliğinin sağlanarak mevcut tedarik zincirini iyileştirebileceği, kalitesini ve güvenliğini arttırabileceği öngörülmüştür.

Gelecekte önerilen mimariye akıllı sözleşmeler ile paydaşlar arasında bir ödeme sistemi geliştirilebileceğini ve rakı içerik kontrollerinin denetçi üçüncü taraflara gerek kalmadan otomatize edilebileceğini düşünüyoruz.

KAYNAKÇA

- „, 2023. Open, Proven, Enterprise-grade DLT. Hyperledger, https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2020/03/hyperledger_fabric_whitepaper.pdf (14.01.2023).
- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M., 2018. Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Generation Computer Systems*, 86(9), 614-628.
- Abeyratne, S. A., & Monfared, R. P., 2016. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(9), 1-10.
- Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. M., 2019. Blockchain technology in healthcare: a systematic review. In *Healthcare*, 7(2), 56-86.
- Aggarwal, S., & Kumar, N., 2021. Hyperledger. In *Advances in Computers*. 121, 323-343. Elsevier.
- Agnusdei, G. P., Coluccia, B., Elia, V., & Miglietta, P. P., 2022. IoT technologies for wine supply chain traceability: potential application in the Southern Apulia Region (Italy). *Procedia Computer Science*, 200, 1125-1134.
- Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y., 2021. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107130.
- Ak, R., 2022. Yeni Bandroller ile Her Vatandaş Cep Telefonu ile Alkol ve Sigarada Sahteyi Fark Edecek. *Habertürk*. <https://www.haberturk.com/para-uretim-teknolojisi-el-bandrol-uretilmeye-baslandi-3479510-ekonomi> (27.11.2022).
- Alammary, A., Alhazmi, S., Almasri, M., & Gillani, S., 2019. Blockchain-based applications in education: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(12), 2400.
- Alfian, G., Syafrudin, M., Farooq, U., Ma'arif, M. R., Syaekhoni, M. A., Fitriyani, N. L., & Rhee, J., 2020. Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model. *Food Control*, 110, 107016.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... & Yellick, J., 2018. Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In *Proceedings of the thirteenth EuroSys conference* (pp. 1-15).
- Angraal, S., Krumholz, H. M., & Schulz, W. L., 2017. Blockchain technology: applications in health care. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*, 10(9).
- Anonim 2023. What is Hyperledger Fabric?. Hyperledger Fabric. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/blockchain.html#what-is-hyperledger-fabric> (14.01.2023).
- Anonim, 2017. EUR 230 Million Worth of Fake Food and Beverages Seized in Global OPSON Operation Targeting Food Fraud. Europol, <https://www.europol.europa.eu/media-press/newsroom/news/eur-230-million-worth-of-fake-food-and-beverages-seized-in-global-opson-operation-targeting-food-fraud> (27.11.2022).
- Anonim, 2018. Substandard and Falsified Medical Products. World Health Organization, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products> (27.11.2022).
- Anonim, 2020. Teknoloji Raporu. Softtech, <https://softtech.com.tr/teknoloji-raporu-2020/> (14.01.2023).

- Anonim, 2021. Food Fraud: Can We Trust The Authenticity of Our Food?. EIT Food. European Union. https://www.eitfood.eu/blog/food-fraud-can-we-trust-the-authenticity-of-our-food?gclid=Cj0KCQiAsoycBhC6ARIsAPPbeLuno-U8yEA7EID03O2xK670rgGQ8hIb9Z4UWYuhlhSOmaUxs2PcUd8aAtKGEALw_wcB (27.11.2022).
- Anonim, 2021. Operation OPSON. Europol, <https://www.europol.europa.eu/operations-services-and-innovation/operations/operation-opson> (27.11.2022).
- Anonim, 2022. Smart Contracts Defined. IBM. <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts> (11.11.2022).
- Anonim, 2022. API. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/api_2721613?related_id=2721613 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Blockchain. Flaticon, https://www.flaticon.com/freeicon/cube_4194607?term=blockchain&page=1&position=38&page=1&position=38&related_id=4194607&origin=search (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Chain. Flaticon, https://www.flaticon.com/freeicon/chain_2944046?term=chain&page=1&position=4&page=1&position=4&related_id=2944046&origin=search (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Consumer. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/consumer_4187241 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Encrypted. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/encrypted_2592317 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Factory. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/factory_699606?term=factory&related_id=699606 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Gıdada sahtecilik her yıl 100 milyar dolar kaybettiriyor. KPMG. <https://home.kpmg/tr/tr/home/medya/press-releases/2020/02/gidada-sahtecilik-kaybettiriyor.html> (11.11.2022).
- Anonim, 2022. Glossary. World Trade Organization, https://www.wto.org/english/thewto_e/glossary_e/glossary_e.htm (11.11.2022).
- Anonim, 2022. Grape. Flaticon, https://www.flaticon.com/freeicon/grapes_3401521?term=grape%20harvest&page=1&position=7&page=1&position=7&related_id=3401521&origin=search (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Monthly Summary of Articles on Food Fraud and Adulteration. European Commission. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/food-fraud-summary-october-2022_en (03.01.2023).
- Anonim, 2022. People. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/people_3239147?term=user&related_id=3239147 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Pub. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/pub_1381973 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Qr code. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/qr-code_5628131?related_id=5628131 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Qr code. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/qr-code_1059043 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Restaurant. Flaticon, https://www.flaticon.com/freeicon/supermarket_7845682?term=retail&page=&position=31&page=1&position=31&related_id=7845682&origin=search (20.10.2022).

- Anonim, 2022. Sahte İçki Ölümleri: Bu Yıl 1 Milyon Litre Kaçak İçki Ele Geçirildi. BBC News Türkçe. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-54676846> (27.11.2022).
- Anonim, 2022. Server. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/server_689360?term=server&related_id=689360 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Smart Contracts. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/smart-contracts_5966656?related_id=5966750&origin=search (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Truck. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/deliverytruck_3091609?term=delivery&page=1&position=19&page=1&position=19&related_id=3091609&origin=search (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Uploads. Flaticon, <https://cn.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/04/fabric-logo.png> (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Warehouse. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/warehouse_407775?term=warehouse&related_id=407775 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. Website. Flaticon, https://www.flaticon.com/free-icon/website_977479?term=interface&related_id=977479 (20.10.2022).
- Anonim, 2022. What is Blockchain Technology?. IBM. <https://www.ibm.com/topics/what-is-blockchain> (11.11.2022).
- Anonim, 2023. Peer to Peer Network. Teach Computer Science. <https://teachcomputerscience.com/peer-to-peer-network/> (05.01. 2023).
- Anonim, 2023. An Introduction to Hyperledger. Hyperledger, https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/08/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf (14.01.2023).
- Anonim, 2023. Channels. Hyperledger Fabric, <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/smartcontract/smartcontract.html#channels> (08.01.2023).
- Anonim, 2023. Hyperledger Fabric Model. Hyperledger Fabric, https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/fabric_model.html (08.01.2023).
- Anonim, 2023. Peers. Hyperledger Fabric, <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/peers/peers.html> (08.01.2023).
- Anonim, 2023. Smart Contracts and Chaincode. Hyperledger Fabric, <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/smartcontract/smartcontract.html> (08.01.2023).
- Anonim., 2018. Top Use cases of blockchain technology in fintech. Medium, https://medium.com/@N_iX/exploring-the-use-cases-of-blockchain-technology-in-fintech-8136e4fab95b (03.01.2023).
- Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., & Menesatti, P., 2019. A Review on Blockchain Applications in The Agri-Food Sector. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6129–6138.
- Arıcı, S. S., Kocaoğlu, B., 2022. Tedarik zinciri yönetiminde blok zinciri. 5th International European Conference on Interdisciplinary Scientific Research, İspanya.
- Aslan, M., & Kasapbaşı, M. C. Blok zinciri platformları, fikir birliği mekanizmaları ve ağın güvenlik analizi. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 43-72.
- Aung, M. M., & Chang, Y. S., 2014. Traceability in a Food Supply Chain: Safety and Quality Perspectives. *Food Control*, 39, 172–184.
- Ayvaz, B., 2016. Tedarik Zincirinde Özel Konular. <https://slideplayer.biz.tr/slide/10141780/> (11.11.2022).

- Bahga, A., & Madiseti, V. K., 2016. Blockchain platform for industrial internet of things. *Journal of Software Engineering and Applications*, 9(10), 533-546.
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H., 2019. Blok zincir teknolojisi ve tedarik zinciri yönetimindeki uygulamaları. *OPUS International Journal of Society Researches*, 11(18), 2847-2877.
- Balamurugan, S., Ayyasamy, A., & Joseph, K. S., 2022. Iot-blockchain driven traceability techniques for improved safety measures in food supply chain. *International Journal of Information Technology*, 14(2), 1087-1098.
- Baygın, N., 2022. Endüstri 5.0 Platformları İçin Blok Zincir Tabanlı Akıllı Kitlesel Özelleştirme Yöntemlerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Benatia, M. A., De Sa, V. E., Baudry, D., Delalin, H., & Halftermeyer, P., 2018. A framework for big data driven product traceability system. 4th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing, Tunus.
- Biswas, K., Muthukkumarasamy, V., & Tan, W. L., 2017. Blockchain based wine supply chain traceability system. In *Future Technologies Conference*, Kanada.
- Bocek, T., Rodrigues, B. B., Strasser, T., & Stiller, B., 2017. Blockchains everywhere-a use-case of blockchains in the pharma supply-chain. *IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management IEEE*.
- Bozdağ, A., 2020. Blockchain Teknolojisi Kullanım Alanları ve SAP'nin Vizyonu. <https://nttdata-solutions.com/tr/blog/blockchain-teknolojisi-kullanim-alanlari-ve-sapnin-vizyonu/> (3.12.2022).
- Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., & Rittmer, J., 2020. A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been?. *International Journal of Information Management*, 52, 102008.
- Cachin, C., 2016. Architecture of the hyperledger blockchain fabric. In *Workshop on distributed cryptocurrencies and consensus ledgers* 310 (4), 1-4.
- Cakic, S., Ismailisufi, A., Popovic, T., Krco, S., Gligoric, N., Kupresanin, S., & Maras, V., 2021. Digital transformation and transparency in wine supply chain using ocr and dlt. 25th International Conference on Information Technology, Karadağ.
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giaffreda, R., 2018. Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. *IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture*, İtalya.
- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, TK, Moschuris, SJ, Stachtariis, S., Pagoni, M., Rachaniotis, N.P., 2020. Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 59(19), 5758 - 5770.
- Castro, M., & Liskov, B., 1999. Practical byzantine fault tolerance. *Proceedings of the Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, USA.
- Chen, C. L., Guo, L. H., Zhou, M., Tsaur, W. J., Sun, H., Zhan, W., ... & Li, C. T., 2022. Blockchain-Based Anti-Counterfeiting Management System for Traceable Luxury Products. *Sustainability*, 14(19), 12814.
- Chen, C. L., Shang, X., Tsaur, W. J., Weng, W., Deng, Y. Y., Wu, C. M., & Cui, J., 2021. An Anti-Counterfeit and Traceable Management System for Brand Clothing with Hyperledger Fabric Framework. *Symmetry*, 13(11), 2048.
- Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., & Aliakbarian, B., 2020. The role of smart packaging system in food supply chain. *Journal of Food Science*, 85(3), 517-525.

- Cheng, J. C., Lee, N. Y., Chi, C., & Chen, Y. H., 2018. Blockchain and smart contract for digital certificate. IEEE International Conference on Applied System Invention.
- Cocco, L., Mannaro, K., Tonelli, R., Mariani, L., Lodi, M. B., Melis, A., Fanti, A., 2021. A blockchain-based traceability system in agri-food SME: case study of a traditional bakery. IEEE Access, 9, 62899-62915.
- Daley, S., 2022. Blockchain in government: applications and examples. Built in, <https://builtin.com/blockchain/blockchain-in-government> (07.01.2023).
- Dey, S., Saha, S., Singh, A. K., & McDonald-Maier, K., 2021. FoodSQRBlock: Digitizing food production and the supply chain with blockchain and QR code in the cloud. Sustainability, 13(6), 3486.
- Dikilitaş, Y., 2021. Blokzincirin Tedarik Zincirinde Kullanımı için Taslak Bir Mimari. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R., 2020. Blockchain Technology in Supply Chain Operations: Applications, Challenges and Research Opportunities. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 142, 102067.
- Esen, F. S., Türker, L., Tangal, E., Gökkaya, E., Çıbıkdiken, A. O., Koç, A., Aras, Ö., Saraçoğlu, D., Ergun, H., Kılıç, O. E., Dursun T., Çelik V., 2022. Blok Zincir ve Metaverse Teknolojisi Çalışma Heyeti Sonuç Raporu. Ankara.
- Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., & Zhang, X., 2020. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. Journal of Cleaner Production, 260, 121031.
- Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., & Fraga-Lamas, P., 2019. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. Sensors, 19(10), 2394.
- Fox, M. S., Barbuceanu, M., & Teigen, R., 2001. Agent-Oriented Supply-Chain Management. In Information-Based Manufacturing, M.J. Shaw. Springer, Boston, 81-104.
- Ganeshan, R., 1995. An introduction to supply chain management. http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html.
- Gayialis, S. P., Kechagias, E. P., Konstantakopoulos, G. D., Papadopoulos, G. A., & Tatsiopoulou, I. P., 2021. An approach for creating a blockchain platform for labeling and tracing wines and spirits. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, Fransa.
- Gayialis, S. P., Kechagias, E. P., Papadopoulos, G. A., & Kanakis, E., 2022. A smart-contract enabled blockchain traceability system against wine supply chain counterfeiting. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, Güney Kore.
- Geleneksel Alkollü İçki Üreticileri Derneği (GİSDER), 2016. Geleneksel Alkollü İçecek Olarak Rakının Türkiye Ekonomisindeki Yeri Ekonomik Etki Analizi. Gisder, http://gis-der.org/wp-content/uploads/2020/12/Gisder_IBS-Report_Raki-Ekonomisi_17082016_Final_REV2-donusturuldu.pdf (14.01.2023).
- Geylan, E., 2021. Türkiye'de Bu Ay Sahte İçki Zehirlenmesi Sonucu Ölenlerin Sayısı 84'e Çıktı. AA. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiyede-bu-ay-sahte-icki-zehirlenmesi-sonucu-olenlerin-sayisi-84ecikti/> (27.11.2022).

- González-Amarillo, C. A., Corrales-Muñoz, J. C., Mendoza-Moreno, M. Á., Hussein, A. F., Arunkumar, N., & Ramirez-González, G., 2018. An IoT-based traceability system for greenhouse seedling crops. *IEEE Access*, 6, 67528-67535.
- Guustaaf, E., Rahardja, U., Aini, Q., Maharani, H. W., & Santoso, N. A., 2021. Blockchain-based education project. *Aptisi Transactions on Management*, 5(1), 46-61.
- Günen, E., 2020a. En Sade Anlatımla Blockchain Nedir, Nasıl Çalışır?. *CoinTelegraph Türkiye*. <https://tr.cointelegraph.com/news/a-simple-explanation-of-what-is-blockchain-and-how-its-works> (02.01.2023).
- Günen, E., 2020b. Peer-to-Peer (P2P) Nedir? Eşten Eşe Bitcoin Ağı Nasıl Çalışır?. *CoinTelegraph Türkiye*. <https://tr.cointelegraph.com/news/what-is-peer-to-peer-p2p-and-how-does-bitcoin-p2p-network-protocol-work> (07.01.2023).
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Suman, R., & Rab, S., 2021. Blockchain technology applications in healthcare: An overview. *International Journal of Intelligent Networks*, 2, 130-139.
- Haq, I., and Esuka, O. M., 2018. Blockchain Technology in Pharmaceutical Industry to Prevent Counterfeit Drugs. *International Journal of Computer Applications*, 180(25), 8-12.
- Hofstede, G. J., Beulens, A. J. M., & Spaans, L., 2004. Transparency: perceptions, practices and promises. In *The Emerging World Of Chains And Networks, Bridging Theory And Practice*, 285-310. Reed Business Information.
- Hou, H., 2017. The application of blockchain technology in E-government in China. 26th International Conference on Computer Communication and Networks, IEEE.
- Huang, L. Y., Cai, J. F., Lee, T. C., & Weng, M. H., 2020. A study on the development trends of the energy system with blockchain technology using patent analysis. *Sustainability*, 12(5), 2005.
- Huang, Y., Wu, J., & Long, C., 2018. Drugledger: A practical blockchain system for drug traceability and regulation. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, IEEE.
- Iredale, G., 2021. The Rise Of Private Blockchain Technologies. <https://101blockchains.com/private-blockchain/> (02.01.2023).
- İndap, Ş., 2022. Tarım-Gıda Tedarik Zincirinde İzlenebilirlik ve Gıda Güvenliği için Blokzinciri: Kiraz Ürünü Uygulaması. Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Kandiye, A., 2020. Blokzinciri (Blockchain) Teknolojisinin İnşaat Sektöründe Kullanımı. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kapoor, A., Griffith, G., & Loch, A., 2021. Adapting blockchain technology in the wine industry to curb wine counterfeiting. *Australasian Agribusiness Perspectives*, 24(12), 168-188.
- Karahan, M. O., ve Şahin, F., 2020. Tüketicilerin taklit ürün satın alma tutumlarını ve niyetlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi: nicel bir araştırma. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 154-170.

- Kardaş, S., 2019. Blokzincir teknolojisi: uzlaşma protokolleri. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10(2), 481-496.
- Kaynak. B., 2020. Blokzinciri Temelli Bulut İmalat Modeli. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Khalil, G., Doss, R., Chowdhury, & M., 2019. A comparison survey study on rfid based anti-counterfeiting systems. Journal of Sensor and Actuator Networks, 8(3), 37.
- Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., & Bani-Hani, A., 2021. Blockchain smart contracts: applications, challenges, and future trends. Peer-to-peer Networking and Applications, 14(5), 2901- 2925.
- Kumar, R., & Tripathi, R., 2019. Traceability of counterfeit medicine supply chain through Blockchain.11th International Conference on Communication Systems & Networks, IEEE.
- Külahlı, S., & Çağlıyan, V., 2022. Tedarik zincirinde blok zinciri teknolojisi uygulamaları: sistematik bir literatür taraması. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 22(1), 57-75.
- Lin, I. C., & Liao, T. C., 2017. A survey of blockchain security issues and challenges. International Journal of Network Security, 19(5), 653-659.
- Lou, M., Dong, X., Cao, Z., Shen, J., 2021. SESCF: A secure and efficient supply chain framework via blockchain-based smart contracts. Security and Communication Networks, 2021(8884478).
- Malik, S., Kanhere, S. S., & Jurdak, R., 2018. Productchain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains. 17th International Symposium on Network Computing and Applications, IEEE.
- Mohanta, B. K., Panda, S. S., & Jena, D., 2018. An overview of smart contract and use cases in blockchain technology. 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-4).
- Mohanty, D., Anand, D., Aljahdali, H. M., & Villar, S. G., 2022. Blockchain Interoperability: Towards a Sustainable Payment System. Sustainability, 14(2), 913.
- Nakamoto, S., 2008. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Decentralized Business Review, 21260.
- Nanayakkara, S., Perera, S., & Senaratne, S. (2019, June). Stakeholders' perspective on blockchain and smart contracts solutions for construction supply chains. In CIB World Building Congress, China.
- Natarajan, H., Krause, S., & Gradstein, H., 2017. Distributed ledger technology and blockchain. FinTech Note; No. 1. World Bank, Washington.
- Orton T., Omar Z., Subramanian P. & Adeli N., 2019. A global model to reduce deaths from counterfeit drugs in the pharmaceutical industry. American University, https://www.american.edu/kogod/news/a-global-model-to-reduce-deaths-from-counterfeit-drugs-in-the-pharmaceutical-industry.cfm#_ftn1 (27.11.2022).
- Özcan A. ve Çağlıyan K. F., 2011. Taklit edilen markaların sahte ambalajlarının yeni teknolojilerle tespit edilmesi. IV. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul.
- Polyzos, G. C., & Fotiou, N. 2017. Blockchain-assisted information distribution for the internet of things. IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI) (pp. 75-78).

- Pundir, A. K., Jagannath, J. D., Chakraborty, M., & Ganpathy, L. 2019. Technology integration for improved performance: A case study in digitization of supply chain with integration of internet of things and blockchain technology. IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) IEEE.
- Puthal, D., Malik, N., Mohanty, S. P., Kougianos, E., & Das, G., 2018. Everything you wanted to know about the blockchain: Its promise, components, processes, and problems. IEEE Consumer Electronics Magazine, 7(4), 6-14.
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M., 2018. On blockchain and its integration with iot. challenges and opportunities. Future Generation Computer Systems, 88, 173-190.
- 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.
- Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R., & Omar, M., 2019. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. IEEE Access, 7, 73295-73305.
- Schollmeier, R., 2001. A definition of peer-to-peer networking for the classification of peer-to-peer architectures and applications. In Proceedings First International Conference on Peer-to-Peer Computing, İsveç.
- Singh, R., Dwivedi, A. D., & Srivastava, G., 2020. Internet of things based blockchain for temperature monitoring and counterfeit pharmaceutical prevention. Sensors, 20(14), 3951.
- Sun, W., Zhu, X., Zhou, T., Su, Y., & Mo, B., 2019. Application of Blockchain and RFID in Anti-counterfeiting Traceability of Liquor. 5th International Conference on Computer and Communications, IEEE.
- Sunny, J., Undralla, N., Pillai, & V. M., 2020. Supply chain transparency through blockchain-based traceability: an overview with demonstration. Computers & Industrial Engineering, 150, 106895.
- Sunyaev, A., 2020. Distributed ledger technology. In Internet Computing, İsviçre, 265-299.
- Şafak, E., Arslan, Ç., Gözütok, M., & Köprülü, T., 2021. Dağıtık Defter Teknolojileri ve Uygulama Alanları Üzerine Bir İnceleme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (29), 36-45.
- Tanrıverdi, M., Uysal, M., & Üstündağ, M. T., 2019. Blokzinciri teknolojisi nedir? ne değildir?: alanyazın incelemesi. bilişim teknolojileri dergisi, 12(3), 203-217.
- 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, IEEE.
- Tian, F., 2017. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. International Conference on Service Systems and Service Management, IEEE.
- Toka, K. O., 2021. Nesnelerin interneti verilerinin güvenli bir şekilde blokzincir ağlarına aktarımı. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Tokkozhina, U., Ferreira, J. C., & Martins, A. L., 2021. Wine Traceability and Counterfeit Reduction: Blockchain-Based Application for a Wine Supply Chain. In International Conference on Intelligent Transport Systems, Amerika.

- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T., Lam, C. H., & Koo, P. S., 2018. An Internet of Things (IoT)-based risk monitoring system for managing cold supply chain risks. *Industrial Management & Data Systems*, 118(7), 1432-1462.
- Tse, D., Zhang, B., Yang, Y., Cheng, C., & Mu, H., 2017. Blockchain application in food supply information security. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, IEEE.
- Tu, M., Lim, M. K., & Yang, M. F., 2018. IoT-based production logistics and supply chain system–Part 2: IoT-based cyber-physical system: a framework and evaluation. *Industrial Management & Data Systems*, 118(1), 96-125.
- Turgut, A., 2020. Blokzinciri Teknolojisinin Tekstil Sektörüne Getirdiği Yenilikler. Y.Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Uddin, M., 2021. Blockchain Medledger: Hyperledger fabric enabled drug traceability system for counterfeit drugs in pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutics*, 597, 120235.
- Ünal, G. & Uluyol, Ç., 2020. Blok zinciri teknolojisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(2), 167-175.
- Wang, S., Li, D., Zhang, Y., & Chen, J., 2019. Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario. *IEEE Access*, 7, 115122-115133.
- Wei, D., 2022. Gemiverse: The blockchain-based professional certification and tourism platform with its own ecosystem in the metaverse. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(2), 322-336.
- Wüst, K., & Gervais, A., 2018. Do you need a blockchain?. *Crypto Valley Conference on Blockchain Technology*. IEEE.
- Xu, X., Lu, Q., Liu, Y., Zhu, L., Yao, H., & Vasilakos, A. V., 2019. Designing blockchain-based applications a case study for imported product traceability. *Future Generation Computer Systems*, 92, 399-406.
- Xu, X., Sun, G., Luo, L., Cao, H., Yu, H., & Vasilakos, A. V., 2021. Latency performance modeling and analysis for hyperledger fabric blockchain network. *Information Processing & Management*, 58(1), 102436.
- Yapıcı, S., Oral, N., Yumuşak, R., & Eren, T., 2021. Blokzincir teknolojisi ile merkezi ve dağıtık veri tabanının karşılaştırılması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 32(3), 457-472.
- Yavuz, E., & Avunduk, H., 2021. Tedarik zinciri yönetiminde blok zincir teknolojisinin kullanımı. *Izmir Democracy University Social Sciences Journal*, 4(1), 33-56.
- Ye, Z., Yin, M., Tang, L., & Jiang, H., 2018. Cup-of-Water theory: A review on the interaction of BIM, IoT and blockchain during the whole building lifecycle. Paper presented at the ISARC. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.
- Yıldızöz, H., 2006. Tedarik Zinciri Yönetimi ve Bir Uygulama. Y.Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, R., 2019. Ürünlerin Tedarikçiden Tüketiciye Ulaşmasını Takip Edecek Bir Blok Zinciri Sisteminin Tasarlanması. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yiannas, F., 2018. A new era of food transparency powered by blockchain. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 12(1–2), 46–56.
- Yiu, N. C., 2016. An NFC-enabled anti-counterfeiting system for wine industry. *arXiv*, 1601.06372.

- Yiu, N. C., 2021. Decentralizing supply chain anti-counterfeiting and traceability systems using blockchain technology. *Future Internet*, 13(4), 84.
- Yüksel, H., 2004. Tedarik zincirleri için performans ölçüm sistemlerinin tasarımı. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 11(1), 143-154.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H., 2017. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. *IEEE International Congress on Big Data*.
- Zhu, P., Hu, J., Li, X., & Zhu, Q., 2021. Using blockchain technology to enhance the traceability of original achievements. *IEEE Transactions on Engineering Management*.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Elif Bağnu KORKMAZ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Mehmet Niyazi Altuğ Anadolu Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı (2023)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Tezden Üretilmiş Yayınlar	