



T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

MALİYE VE MALİ YÖNETİM (DİSİPLİNLERARASI) ANABİLİM DALI

**BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN VERGİLEME
ALANINDA KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİLRUBA VİDİNEL

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ORÇUN AVCI

AKSARAY-2025

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MALİYE VE MALİ YÖNETİM (DİSİPLİNLERARASI) ANABİLİM DALI

**BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN VERGİLEME
ALANINDA KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİLRUBA VİDİNEL

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ORÇUN AVCI

JÜRİ ÜYESİ: PROF. DR. SÜLEYMAN BOLAT

JÜRİ ÜYESİ: DOÇ. DR. BAKİ YEGEN

AKSARAY-2025

TELİF HAKLARI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU

Bu tezin tüm hakları saklıdır. Kaynak göstermek koşuluyla tezin teslim tarihinden itibaren (....) ay sonra tezden fotokopi çekilebilir.

YAZARIN

Adı : Dilruba

Soyadı : VİDİNEL

Bölümü : Maliye ve Mali Yönetim (Disiplinlerarası)

İmza :

Teslim Tarihi :

TEZİN

Türkçe Adı : Blok Zincir Teknolojisinin Vergileme Alanında Kullanımının Değerlendirilmesi

İngilizce Adı : Evaluation of the Use of Blockchain Technology in Taxation

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Tez yazma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyduğumu, yararlandığım tüm kaynakları kaynak gösterme ilkelerine uygun olarak kaynakçada belirttiğimi ve bu bölümler dışındaki tüm ifadelerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Yazar Adı Soyadı: Dilruba VİDİNEL

İmza:

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY SAYFASI

Dilruba VİDİNEL tarafından hazırlanan “Blok Zincir Teknolojisinin Vergileme Alanında Kullanımının Değerlendirilmesi” başlıklı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye ve Mali Yönetim (Disiplinlerarası) Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Kabul</u>	<u>Ret</u>	<u>İmza</u>
Danışman: (Doç. Dr. Orçun AVCI) (Mali Hukuk A.B.D. / Aksaray Üniversitesi)	☐	☐	
Üye: (Prof. Dr. Süleyman BOLAT) (Mali İktisat A.B.D. / Aksaray Üniversitesi)	☐	☐	
Üye: (Doç. Dr. Baki YEGEN) (Mali Hukuk A.B.D. / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)	☐	☐	

Tez Savunma Tarihi: 26/05/2025

Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Aybala ÇAYIR
İmza

TEŞEKKÜR SAYFASI

Bu çalışmanın her aşamasında bilgisini ve emeğini esirgemeyen, akademik gelişimime yön veren ve olaylara her zaman pozitif bakış açısıyla yaklaşmayı öğreten kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Orçun AVCI'ya en içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Danışmanımın yanı sıra, değerli vakitlerini ayırarak bilgi ve deneyimleriyle sürece rehberlik eden jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Süleyman BOLAT'a ve Doç. Dr. Baki YEGEN'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu tezin hazırlanma sürecinde zamanını ayırarak verdiği destek, değerli görüş ve öneriler için Arş. Gör. Hüseyin DİRİCAN'a içtenlikle teşekkür ederim. Son olarak ise kıymetli aileme verdikleri destek ve sonsuz sevgi için şükranlarımı sunarım.

ÖZET

Blok zincir, dünya teknoloji sahnesinde küresel ölçekteki kurumları ve piyasaları köklü bir şekilde dönüştürme potansiyeline sahip önemli bir teknolojidir. Blok zincir teknolojisi ile işlemlere güven sağlanmakta, varlıkların kimliği doğrulanmakta, böylelikle varlıklar özgün ve izlenebilir hale gelmektedir. Kripto para birimlerinden tedarik zincirine, muhasebe-denetim alanından vergi sistemlerine kadar geniş bir kullanım alanı bulan blok zincir teknolojisinin özellikle, vergi sistemlerine entegre edilebilmesi hükümetler için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımının değerlendirilmesidir. Konunun vergi türleri bağlamında sınırlı kullanım alanı karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca konunun daha iyi anlaşılabilmesi adına çeşitli ülke örneklerine yer verilmiştir. Ardından ise blok zincir teknolojisinin Türkiye’de vergilemede hangi alanlarda kullanılabileceğine ilişkin çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmada SWOT analizi yöntemi kullanılarak blok zincir teknolojisinin vergileme alanındaki; güçlü yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri tespit edilmiştir. Özellikle de vergilemede blok zincir teknolojisinin uygulanma düşüncesi konu hakkında pek çok tartışmayı beraberinde getirmiştir. Henüz bütünüyle hiçbir ülkede uygulama alanı olmasa da yakın gelecekte bu teknolojiyi vergi sistemlerine entegre edecek ülke sayısı azımsanmayacak düzeyde olabilecektir. Tüm bunlara rağmen vergilemede uluslararası mevzuatta birlik sağlanmasının oldukça güç olması hasebiyle blok zincir teknolojisinin entegrasyonunda zorluklar yaşanabilecektir. Bu bağlamda blok zincir teknolojisindeki birçok sorunu önleyebilmek adına Türkiye ve diğer pek çok ülkede bu teknolojiye dair kuruluşlara detaylı bilgi birikimi kazandırılmalıdır. İlaveten kamuya açık bir blok zincir altyapısının geliştirilmesi ve teknolojik yapının hukuki bir statüye kavuşturulması vergilemede dijital dönüşüme ciddi bir katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler : Blok Zincir Teknolojisi, Dağıtık Defter, Blok Zincir Uygulamaları, Vergi Sistemi

Bilim Kodu : 112005

Sayfa Adedi : 153

Yazar : Dilruba VİDİNEL

Danışman : Doç. Dr. Orçun AVCI

ABSTRACT

Blockchain is an important technology on the world technology stage with the potential to fundamentally transform institutions and markets on a global scale. Blockchain technology ensures trust in transactions, verifies the identity of assets, and makes assets unique and traceable. Blockchain technology has found a wide range of applications from cryptocurrencies to supply chains and from accounting-auditing to tax systems. In particular, its integration into tax systems holds significant importance for governments. The aim of this study is to evaluate the use of blockchain technology in the field of taxation. The subject is of limited use in the context of tax types. In addition, examples from various countries are given for a better understanding of the subject. Subsequently, inferences have been made regarding the potential areas of use for blockchain technology in taxation in Türkiye. In the study, the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of blockchain technology in the field of taxation have been identified using the SWOT analysis method. In particular, the idea of applying blockchain technology in taxation has brought many discussions on the subject. Although it has not yet been fully implemented in any country, the number of countries that will integrate this technology into their tax systems in the near future could be considerable. Despite all these, there may be difficulties in the integration of blockchain technology due to the fact that it is very difficult to achieve unity in international legislation on taxation. In this context, in order to prevent many potential issues related to blockchain technology, institutions in Türkiye and many other countries should be equipped with comprehensive knowledge and expertise on this technology. In addition, the development of a public blockchain infrastructure and the legalisation of the technological structure will make a significant contribution to digital transformation in taxation.

Keywords : Blockchain Technology, Distributed Ledger, Blockchain Applications, Tax System

Science Code : 112005

Number of Pages : 153

Author : Dilruba VİDİNEL

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Orçun AVCI

İÇİNDEKİLER

TELİF HAKLARI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU	i
ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI	ii
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR SAYFASI.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
GRAFİKLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	3
BLOK ZİNCİR: KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ, TARİHSEL GELİŞİMİ VE ESASLARI	3
1.1. Blok Zincir Teknolojisinin Ortaya Çıkışı	3
1.2. Blok Zincir Teknolojisinin Kavramsal Perspektifi.....	7
1.3. Dağıtık Defter Kavramı ve Teknolojisi	9
1.3.1. Dağıtık Defter Kavramı	9
1.3.2. Dağıtık Defter Teknolojisi	10
1.4. Nakamoto Mutabakatı ve Bizans Generalleri Problemi	11
1.5. Blok Zincirin Türleri ve Sınıflandırılması	13
1.5.1. Herkese Açık Blok Zincirler	13
1.5.2. Özel Blok Zincirler.....	14
1.5.3. Konsorsiyum Blok Zincirler	16
1.6. Blok Zincirin Temel Unsurları	16
1.6.1. Düğümler	17
1.6.1.1. Tam Düğümler.....	17
1.6.1.2. Hafif Düğümler.....	17
1.6.1.3. Madenci Düğümü.....	18
1.6.1.4. Doğrulayıcı Düğüm.....	18

1.6.2. Nonce Sayısı	19
1.6.3. Madencilik	19
1.6.4. Merkle Ağacı.....	19
1.6.5. Karma Fonksiyonu	21
1.6.6. Blok Yapısı	22
1.6.7. Kriptografi.....	24
1.6.8. Özel Anahtar Depolaması: Cüzdan	26
1.6.9. Mutabakat Mekanizmaları	27
1.6.9.1. İş Kanıtı.....	27
1.6.9.2. Hisse Kanıtı.....	29
1.6.9.3. Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtı.....	30
1.6.9.4. Faaliyet Kanıtı	31
1.7. Blok Zincirin Çalışma Prensipleri	31
1.8. Blok Zincir Teknolojisinin Özellikleri.....	33
İKİNCİ BÖLÜM	36
BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI, AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI İLE ÜLKE ÖRNEKLERİ.....	36
2.1. Blok Zincir Teknolojisinin Kullanım Alanları	36
2.1.1. Akıllı Sözleşmeler	38
2.1.2. Nesnelerin İnterneti	40
2.1.3. Dijital Kimlik	42
2.1.4. Oy Kullanımı.....	43
2.1.5. Sağlık Uygulamaları	44
2.1.6. Tedarik Zinciri	47
2.1.7. Uluslararası Ticaret	48
2.1.8. Bankacılık Uygulamaları	49
2.1.9. Sigortacılık Hizmetleri	50
2.1.10. Muhasebe-Denetim.....	50
2.2. Blok Zincir Teknolojisinin Avantajları.....	55
2.3. Blok Zincir Teknolojisinin Dezavantajları.....	57
2.4. Blok Zincir Cennetleri ve Blok Zincir Teknolojisinin Uygulandığı Ülkelerdeki Örnekler 60	
2.4.1. Blok Zincir Cennetleri	60
2.4.2. Ülkelerdeki Örnekler.....	63
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	68
BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN VERGİLEME ALANINDAKİ ROLÜ	68

3.1. Vergilemede Blok Zincir Teknolojisinin Yeri	70
3.1.1. Katma Değer Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması	73
3.1.2. Gelir Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması.....	81
3.1.3. Transfer Fiyatlandırması Açısından Blok Zincir Uygulaması	83
3.1.4. Gümrük Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması	86
3.2. Mükellefler ve Vergi İdareleri Üzerinde Blok Zincir Teknolojisinin Etkileri	88
3.3. Dünyada Vergileme Alanında Blok Zincir Teknolojisi	91
3.4. Türkiye’de Vergileme Alanında Blok Zincir Teknolojisinin Uygulanabilirliği	98
3.5. Vergilemede Blok Zincir Teknolojisinin Kullanımına İlişkin SWOT Analizi	103
GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	107
KAYNAKÇA.....	113
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ TEZ DEĞERLENDİRME FORMU	136

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Herkese Açık ve Özel Blok Zincir Türlerinin Karşılaştırılması.....	15
Tablo 2. Girdi Metinleri ve Karşılık Gelen SHA-256 Hash Değerleri Örneği	21
Tablo 3. İş Kanıtı, Hisse Kanıtı ve Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtının Karşılaştırılması.....	30
Tablo 4. Nesnelerin İnterneti ve Blok Zincir Teknolojisinin Karşılaştırılması	41
Tablo 5. Blok Zincir Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	59
Tablo 6. Blok Zincir Teknolojisinin Çeşitli Ülkelerde Benimsenmesi	66
Tablo 7. Blok Zincir Teknolojisinin Transfer Fiyatlandırmasına Vereceği Yön.....	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Blok Zincirin Tarihçesi.....	4
Şekil 2. Dağıtık Defter Teknolojilerinin Evrimi: Klasik Defterden Blok Zincire	10
Şekil 3. Bizans Generalleri Problemi	12
Şekil 4. Blok Zincir Türleri	13
Şekil 5. Blok Zincirin Merkle Ağacı Yapısı.....	20
Şekil 6. Süreklilik Arz Eden Bloklar Dizisinden Oluşan Bir Blok Zincir Örneği.....	23
Şekil 7. Dijital İmzalar İçin Açık Anahtar Kriptografisi.....	25
Şekil 8. Blok Zincir Dallarının Senaryosu	29
Şekil 9. Blok Zincirin Alternatifleriyle Karşılaştırıldığında “Güvencesiz” Güven Mimarisi ile Herhangi Bir Aktöre Güvenmeden Tüm Ağda Güven Oluşturması	32
Şekil 10. Blok Zincirin Çalışma Prensibi.....	33
Şekil 11. Blok Zincir Teknolojisinin Özellikleri	34
Şekil 12. Akıllı Sözleşmenin Dijital Satış Makinesi Örneği	39
Şekil 13. Merkezi ve Blok Zincir Tabanlı Nesnelerin İnterneti Mimarisi	41
Şekil 14. Blok Zincir Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetim Mimarisi	48
Şekil 15. Blok Zincir Tabanlı Muhasebe Ekosistemine Genel Bir Bakış	52
Şekil 16. Üç Girişli Muhasebe Sistemi Olanakları	53
Şekil 17. Blok Zincir Teknolojisinin Vergilemedeki Çeşitli Kazanımları.....	71
Şekil 18. Blok Zincirin Kullanılmadığı KDV İşlem Süreci	74
Şekil 19. Blok Zincirin Kullanıldığı KDV İşlem Süreci.....	75
Şekil 20. VATCoin Çalışmasına Örnek	80
Şekil 21. Blok Zincir Tabanlı Vergi Sisteminin Temel Unsurları.	91
Şekil 22. Blok Zincir Teknolojisinin Vergileme Alanında Kullanımının SWOT Analizi	104

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Blok Zincir Teknolojisinin Vergilendirmeye İlişkilendirildiği Çalışma Alanları	68
Grafik 2. Blok Zincir Teknolojisinin İlişkilendirildiği Vergi Türleri	69



KISALTMALAR

ABA	: Avustralya Blok Zincir Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADCCA	: Avustralya Dijital Para Birimi Ticaret Birliği
ASX	: Avustralya Menkul Kıymetler Borsası
BAE	: Birleşik Arap Emirlikleri
BCPF	: Blok Zincir Vergi Dosya Numarası
BMF	: Federal Maliye Bakanlığı
BMWi	: Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığı
CHC	: Çin Halk Cumhuriyeti
CRS	: Ortak Raporlama Standartları
ÇUŞ	: Çok Uluslu Şirketler
DoS	: Hizmeti Aksatma
E-gümrükleme	: Elektronik Gümrükleme
E-Nofa	: Vergi Fatura Seri Numarası
E-oylama	: Elektronik Oylama
ERP	: Kurumsal Kaynak Planlama
E-sakinler	: Elektronik Sakinler
E-ticaret	: Elektronik Ticaret
E-fatura	: Elektronik Fatura
FATC	: Yabancı Hesaplar Vergi Uyum Kanunu
FBI	: Federal Soruşturma Bürosu
GİB	: Gelir İdaresi Başkanlığı
GSYH	: Gayri Sâfi Yurt İçi Hasıla
GTİP	: Türk Gümrük Tarife Cetveli
GVK	: Gelir Vergisi Kanunu
IMF	: Uluslararası Para Fonu

IPFS	: Depolanan Dağıtık Dosya Sistemi
IRS	: İç Gelir İdaresi
KDV	: Katma Değer Vergisi
KİK	: Körfez İş Birliği Konseyi
KVK	: Kurumlar Vergisi Kanunu
LTC	: Litecoin
NYSE	: New York Borsası
OECD	: Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Teşkilatı
PwC	: PricewaterhouseCoopers
SAF-T	: Standart Vergi Denetim Dosyası
SHA	: Güvenli Hash Algoritması
SSI	: Bireysel Egemen Kimlik
XRP	: Ripple

GİRİŞ

Teknoloji alanında yaşanan yenilikler, firmalar ve kurumlar açısından yeni fırsatlar yaratmakla birlikte özellikle belirli sektördeki firmalar arasındaki dengeyi değiştirme potansiyeline de sahiptir. Son yıllarda işletmeler, bankalar, diğer finansal kurumlar ve hükümetler de dâhil olmak üzere birçok karar alıcı dijitalleşmeye yönelik ciddi adımlar atmakta ve iş modellerini buna göre geliştirmektedirler. Bu dijital dönüşüm ise nesnelerin interneti, yapay zekâ, bulut bilişim ve blok zincir teknolojisi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Özellikle dijital çağda bilgilerin toplanması ve kayıtların yönetimi söz konusu olduğunda blok zincir teknolojisi ilgi odağı haline gelmektedir. Blok zincir alanındaki sıra dışı gelişmeler gelecekte; kurumların, şirketlerin, piyasaların ve özellikle vergi sistemlerinin işleyişine etkili ve yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahip olacaktır. İlaveten bu teknoloji, kamu ve özel sektör bilişim uygulamalarında önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Blok zincir teknolojisi, kripto para birimlerinden bankacılık alanına, uluslararası ticaretten vergi sistemlerine kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır.

Birçok alanda kullanılan blok zincir teknolojisinin özellikle vergileme alanında kullanılması devletler açısından çeşitli avantajları beraberinde getirebilecektir. Nitekim günümüzde vergilerin kamu gelirleri arasında en önemli gelir kaynaklarından birisi olduğu göz önüne alındığında konunun önemi net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Vergileme sürecinde ise alacağın tahsil edilmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak vergiye tâbi matrahın kapsadığı alanın genişlemesi bireylerin ve işletmelerin üzerindeki vergi baskısını artırmayacaktır. Artan vergi baskısı ise mükelleflerin vergileri kamu harcamalarına meşru bir katkıdan ziyade maddi bir kayıp olarak görmelerine neden olabilmektedir. Bu durum karşısında mükellefler, vergi mevzuatındaki belirsiz düzenlemeleri tespit etmeye çalışarak vergiden kaçınabilmekte veya yasal olmayan yollar ile vergi kaçakçılığına eğilim gösterebilmektedir. Günümüzde gelişen teknolojiler ile birlikte bu eğilimde olan mükellefleri tespit edebilmek ve bunu önlemek mümkün olabilecektir.

Devletin vergi sistemini etkin bir şekilde yürütebilmesi için vergi mükelleflerine ait bilgileri eksiksiz bir şekilde edinmesi ve bu bilgileri kayıt altına alması gerekmektedir. Dolayısıyla

mükelleflerin, vergi yükümlülüklerinin yerine getirilmesi için gerekli olan bilgileri vergi otoriteleriyle paylaşımları büyük önem arz etmektedir. Bu bilgiler bazı durumlarda vergi mükellefleri tarafından vergi beyannamelerinin doldurulması ile beyan edilirken, bazı durumlarda stopaj usulüyle vergilendirilen ücret geliri elden edenler için işveren tarafından beyan edilmektedir. Bilgi asimetrisinin önüne geçmek amacıyla vergi sisteminin şeffaf ve değiştirilemez verilere dayalı olarak veri bütünlüğünü ve koordinasyonu sağlaması gerekmektedir. Devletin her kurumunun kendi kayıtlarını ayrı ayrı tutması, verilerin mükerrer hale gelmesine neden olmakta ve bu durum mevcut sistemin işleyişinde işverenler gibi araçlara ek maliyetler ve idari yükler ortaya çıkarmaktadır. Blok zincir teknolojisi hem veri fazlalığından kaynaklanan bu verimsizliği gidererek hem de veri değişmezliğini ve bütünlüğünü sağlayarak daha etkin bir sistem sunmaktadır. Genel bir ifadeyle blok zincir teknolojisi, varlıkların güvenilir ve şeffaf bir şekilde müdahaleye kapalı olarak zincir sistemi içerisinde yer alan kullanıcılar arasında değiş tokuş edilmesine olanak tanıyan dağıtık bir defter olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu teknoloji, geniş bir kitleye gerçek zamanlı ve güvenilir bilgi sunma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla bu teknoloji gerek vergi otoritelerinin gerekse mükelleflerin toplanan verilerin doğruluğuna güven duymalarını sağlayabilecektir. Bu sayede mükelleflerin vergi ödemeleri kolaylaşabilecek ve devletlerin bütçe açığı minimize olabilecektir. Bunun yanı sıra blok zincir teknolojisi aracılığıyla gerçekleşen işlemler neticesinde oluşan maliyetler azalabilecektir.

Çalışmanın amacı blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımının değerlendirilmesidir. Buradan hareketle çalışmada blok zincir teknolojisine ve bu teknolojinin vergileme alanındaki olası etkilerine odaklanılmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın birinci bölümünde; blok zincir teknolojisinin ortaya çıkışı, kavramsal perspektifi, dağıtık defter kavramı ve teknolojisi, Nakamoto Mutabakatı ve Bizans Generalleri Problemi, blok zincirin türleri ve sınıflandırılması, blok zincirin temel unsurları, blok zincirin çalışma prensibi ve özellikleri gibi hususlar ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde; blok zincir teknolojisinin kullanım alanları, avantajları ile dezavantajları ve çeşitli ülke örnekleri uygulamalarına yer verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise blok zincir teknolojisinin vergileme alanındaki yeri, mükellefler ve vergi idareleri üzerinde beklenen etkileri, dünyada vergilemede kullanımı ve Türkiye’de vergilemede uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. İlaveten blok zincir teknolojisinin vergileme alanındaki kullanımına yönelik olarak SWOT analizi uygulamasına yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

BLOK ZİNCİR: KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ, TARİHSEL GELİŞİMİ VE ESASLARI

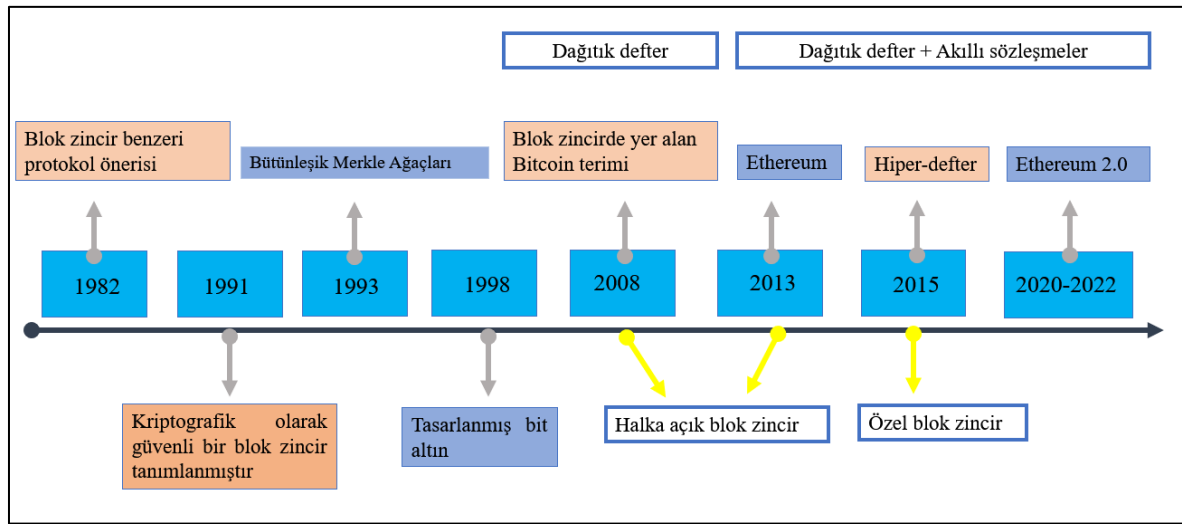
Bu bölümde blok zincir teknolojisinin ortaya çıkışı, kavramsal perspektifi, dağıtık defter kavramı ve dağıtık defter teknolojisi, Nakamoto Mutabakatı ve Bizans Generalleri Problemi, blok zincirin türleri ve sınıflandırılması, temel unsurları, çalışma prensibi ve bu teknolojinin özellikleri yer almaktadır.

1.1. Blok Zincir Teknolojisinin Ortaya Çıkışı

Blok zincirin ortaya çıkışı 17 Mayıs 1792 tarihine uzanmaktadır. Söz konusu tarihte Türkçe kaynaklarda “Batı Çınarı” olarak ifade edilen “Buttonwood” adlı bir çınar ağacının altında yapılan Buttonwood Anlaşması karşımıza çıkmaktadır. Bu anlaşma eşten eşe güveni yansıtan bir örnek teşkil etmektedir. New York’ta yer alan Wall Street’teki bu ağacın çevresinde bir araya gelen tüccarlar kendi aralarında sabit komisyonlar belirleyerek diğer tüccarlar ile devlet tahvili ve şirket hisseleri almama konusunda fikir birliğine varmışlardır. Bunun nedeni borsanın şartlarını, birbirlerine güven duyarak birlikte kontrol etmenin onlara daha fazla getiri sağlayabileceğinin farkında olmalarıdır. Bu anlaşma zaman içerisinde, New York Borsası (New York Stock Exchange (NYSE)) adıyla bilinen finansal piyasalarda güçlü hakimiyete sahip bir konuma gelmiştir. Öyle ki New York Borsası’nda yer alan bir şirket hissesi, alıcılarına güven sağlaması için yeterli olmaktadır (Werbach, 2021, s. 47).

Blok zincir teknolojisi, günümüz piyasaları ve modern finans sistemlerini değiştiren yeni bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Buttonwood Anlaşması’nın Wall Street’i ve borsayı etkilemesine benzer şekilde, blok zincir teknolojisi de finans dünyasını etkilemektedir. Daha açık bir ifadeyle Buttonwood Anlaşması kendi tarihinde finans piyasalarına standartlar ve güven getirirken, blok zincir teknolojisi de merkezi olmayan, güvenli ve şeffaf işlemlere olanak tanımasıyla benzer bir etki sağlamaktadır. Ancak blok zincir bu güveni artırarak ağdaki işlemlerin değiştirilemez olmasını mümkün kılmaktadır. Blok zincir, her bir

elektronik para sahibinin, bir finansal kurumun takasa aracılık etmesine gerek kalmadan, aynı ağa bağlı herhangi bir tarafa doğrudan para transfer etmesine imkân tanımaktadır. Dolayısıyla yeni bir güven mimarisi olan blok zincirin merkezi olmayan bir güven mekanizmasına sahip olması en önemli özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir başka ifadeyle blok zincir, sistemin bütününe güven duymayı sağlamaktadır (Leibowitz, 2016; Wright ve De Philipp, 2015, s. 16). Çünkü blok zincir ağı; zincirdeki katılımcıların, bilgilerin kaydedildiği paylaşılan dağıtık bir deftere, bu bilgilerin doğrulanmasına gerek kalmaksızın güven duymasına aracılık etmektedir (Werbach, 2021, s.17).



Şekil 1. Blok Zincirin Tarihçesi (Guo ve Yu, 2022, s. 2)

Şekil 1’de görüldüğü üzere blok zincire tarihsel perspektiften bakıldığında Chaum’un 1982 yılında yayımladığı doktora tezinde, blok zincir benzeri bir protokol öneren ilk bilim insanı olduğu söylenebilir. 1991 yılında Haber ve Stornetta kriptografik olarak güvenli bir blok zincir tanımlamışlardır. 1993 yılına bakıldığında Bayer ve arkadaşlarının Merkle ağaçlarını tasarıma dâhil ettikleri görülmektedir. 1998 yılında ise Szabo tarafından merkezi olmayan bir dijital para birimi mekanizması olan “bit altın” tasarlanmıştır (Guo ve Yu, 2022, s. 2). 2008 yılının Cadılar Bayramı’nda Satoshi Nakamoto anonim adını kullanan biri (Natarajan vd., 2017, s. 1; Popper, 2015; Zhang vd., 2019, s. 3) internet platformuna e-posta ile gönderdiği dokuz sayfalık Bitcoin sunuş metnin sonuc bölümünü “*Elektronik işlemler için güvene ihtiyaç duymayan bir sistem önerdik*” cümlesi ile başlatmıştır (Nakamoto, 2008, s. 8; Werbach, 2021, s. 31).

Blok zincir, Satoshi Nakamoto tarafından kaleme alınan “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system” [Bitcoin: Eşten-eşe elektronik nakit sistemi] adlı bu belge ile ortaya çıkmıştır (Werbach, 2021, s. 31; Yüce ve Akkaya, 2023, s. 5). Bu belge elektronik parayı (Bitcoin’i), blok zincir olarak bilinen “*dijital imzalar zinciri*” olarak tanımlamaktadır. İlaveten blok zincir Bitcoin kripto para birimi için geliştirilmiş, merkezi olmayan bir işlem teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır. Buradan hareketle Satoshi Nakamoto’nun, Bitcoin blok zincirini ilk oluşturduğunda aynı anda iki kavramı literatüre kazandırdığı söylenebilmektedir. Bunlardan ilki, herhangi bir merkezi olmayan eşten eşe çevrimiçi para birimi olan Bitcoin olurken, diğer kavram ise İş Kanıtı Tabanlı Blok Zincir’dir (Buterin, 2014, s. 1).

Blok zincir teknolojisi, Bitcoin ve Ethereum gibi diğer birçok kripto para birimlerin temelini oluşturmaktadır (Sanka vd., 2021, s. 186). Diğer bir ifadeyle Bitcoin ve dijital para birimleri, güvenilir işlemleri dağıtılmış bir şekilde takip etmenin bir yolu olan “blok zincir” adı verilen dağıtılmış bir güven mekanizması fikrine dayanmaktadır (World Economic Forum, 2015, s. 24). Bitcoin, fon transferini doğrulamak için şifreleme tekniklerinin kullanıldığı, bir merkez bankasından bağımsız olarak çalışan dijital bir para birimi ve çevrimiçi ödeme sistemidir. Başka bir deyişle Bitcoin ilk ve en büyük merkezi olmayan kripto para birimidir. Litecoin (LTC) ve Dogecoin gibi yüzlerce başka alternatif para (altcoin) birimi vardır, ancak Bitcoin tüm kripto para birimlerinin piyasa değerlerinin %90’ını kapsamaktadır. Bitcoin’ler, madencilik olarak bilinen ve kullanıcıların ödemeleri doğrulamak ve halka açık deftere kaydetmek adına bilgi işlem çalışmaları için bir ödül olarak oluşturulur. Şahıslar veya şirketler, işlem ücretleri ve yeni yaratılan Bitcoin’ler karşılığında madencilik yapmaktadırlar. Bitcoin’ler ayrıca herhangi bir para birimi gibi itibari para, ürün ve hizmetler karşılığında da elde edilebilir. Kullanıcılar; kişisel bilgisayar, mobil cihaz veya web uygulamasındaki cüzdan yazılımını kullanarak isteğe bağlı bir işlem ücreti karşılığında elektronik olarak Bitcoin gönderebilmekte ve alabilmektedirler (Swan, 2015, s. 10).

Birçok şirket ve tedarikçi kripto para birimleriyle ödeme kabul etmektedir. Bitcoin; Microsoft, Expedia, Wikipedia, Burger King, KFC, Subway, Norwegian Air ve birçok şirket tarafından kabul edilmektedir. Aynı zamanda birçok ülke, çoğunlukla bankalar arası ve hükümet işlemleri için kullanılmak üzere kendi merkez bankası dijital para birimlerini oluşturmak için çaba sarf etmektedir. Çin ve Facebook’un yakında dijital para birimlerini piyasaya sürmesi beklenmektedir (Sanka vd., 2021, s. 186). Aşağıdaki kripto paralar piyasa değeri açısından Bitcoin’den sonra en büyük kripto paralar olarak karşımıza çıkmaktadır (Hileman ve Rauchs, 2017, s. 15):

- Ethereum: Ethereum kendi tamamlanmış Turing programlama diline sahip merkezi olmayan bir bilgisayar platformudur. Blok zincir, her katılımcı düğüm tarafından çalıştırılan ve yürütülen senaryoları veya sözleşmeleri kaydeder ve yerel kripto para birimi “Ether” ile yapılan ödemeler yoluyla harekete geçmektedir. İlk olarak 2015 yılında piyasaya sürülen Ethereum, birçok geliştiricinin ve kurumsal aktörün büyük ilgisini çekmektedir. Ethereum, herkese açık bir blok zincirdir. Dolayısıyla herkes bu blok zincir ağına katılabilmektedir (Guo ve Yu, 2022, s. 2).
- Dash: Gizlilik odaklı kripto para birimi 2014’ün başlarında piyasaya sürülmüş olup 2017’nin başından bu yana piyasa değerinde önemli bir artış yaşanmaktadır. Diğer kripto para birimlerinin aksine, blok ödülleri madenciler ve “masternodlar” arasında eşit olarak paylaşılmakta ve gelirlerin %10’u geliştirme, topluluk projeleri ve pazarlamayı finanse etmek için hazineye gitmektedir.
- Monero: Gerçekleştirilen Coin’lerin kaynağını, işlem miktarını ve hedefini gizlemek için halka imzalar, gizli işlemler ve gizli adresler kullanarak anonim dijital nakit sağlamayı amaçlayan kripto para sistemidir. Monero 2014 yılında piyasaya sürülmüş olup 2016 yılında piyasa değerinde önemli bir artış kaydetmiştir.
- Ripple (XRP): Bu listede blok zincire sahip olmayan, bunun yerine bir “küresel mutabakat defteri” kullanan tek kripto para birimidir. XRP protokolü, büyük bankalar ve para hizmeti işletmeleri gibi kurumsal aktörler tarafından kullanılmaktadır. Doğal token XRP’nin bir işlevi, nadiren işlem gören ulusal para birimi çiftleri arasında bir köprü para birimi olarak hizmet vermektedir ve spam saldırılarını önlemektedir.
- Litecoin: LTC 2011 yılında piyasaya sürülmüştür ve 84 milyon LTC’lik daha zengin toplam arzı nedeniyle Bitcoin Altını’na karşı bir “gümüş” olarak kabul edilmektedir. Ana kavramları Bitcoin’den ödünç almıştır ancak bazı temel parametreleri değiştirilmiştir (örneğin, madencilik algoritması Bitcoin’in SHA-256’si yerine Scrypt’e dayanmaktadır).

2015 yılında ise Linux Vakfı, blok zincirleri için açık kaynaklı bir yazılım olan Hiper-defter (Hyperledger) projesini duyurmuştur. Aynı zamanda Hyperledger, kurumsal blok zincir oluşturma amacı taşımaktadır (Guo ve Yu, 2022, s. 2). Ethereum 2.0 ise, Buterin ve Zamfir tarafından geliştirilen hisse kanıtı algoritmasının “Casper” olarak bilinen bir versiyonunu ve Sharding adı verilen işlem hacmini artırmak için yeni bir ölçeklendirme yöntemini içermektedir (Kim, 2020, s. 6).

1.2. Blok Zincir Teknolojisinin Kavramsal Perspektifi

Blok zincir kavramı, işlemlerin bloklar halinde bir veri paketi olarak gruplandırılmasından ve bu blokların kronolojik bir zincir oluşturmak üzere kendilerinden önceki bloklara bağlanmasından gelmektedir (Guo ve Liang, 2016, s. 1; Holotiuk vd., 2017, s. 914; Peters ve Panayi, 2015, s. 3). Başka bir deyişle blok zincir, bilgi ve işlemleri organize etmenin ve depolamanın belirli bir yöntemini ifade etmektedir (Natarajan vd., 2017, s. 1). Blok zincir, güvene dayalı olmayan (trustless) teknoloji olarak nitelendirilmektedir (Ainsworth ve Shact, 2016, s. 3). The Economist (2015), blok zincir teknolojisini güven inşa eden bir makine olarak tanımlamıştır. Bu bağlamda blok zincir teknolojisi, güvenilir bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan bir ağın bilinmeyen üyeleri arasında “güven” oluşturmak amacıyla bir mekanizma sağlamaktadır (Moll ve Yiğitbasioğlu, 2019, s. 7). Treleaven vd., (2017) blok zincir teknolojisini, bağlı zincir kayıtlarını içeren bir zincirde blokları yönetmekle beraber, sürekli olarak büyüyen, dağıtılmış, paylaşılan blokların kriptografik olarak onaylandığı, kripto fonksiyonu tarafından üretilen dijital bir parmak izi ile birleştirilmiş bir defter olarak tanımlamaktadırlar. Bu tanımlara ek olarak blok zincir; dijital varlıkların oluşturulmasına, şifrelenmesine, kaydedilmesine ve doğrulanmasına olanak tanıyan, merkezi olmayan dağıtılmış bir defter teknolojisi olarak ifade edilmektedir (Altunbaşak, 2018, s. 362; Holotiuk vd., 2017, s. 913; Mazur, 2022, s.117; Müller, 2020b, s. 363; Rijswijk vd., 2018, s. 3; WU GTPC, 2017, s. 2).

Blok zincir aynı zamanda, ağdaki katılımcıların dağıtık bir deftere kaydedilen işlemleri yazmalarına, okumalarına ve bu işlemlerin doğrulanmasına imkân tanıyan bütünlük ve erişilebilirlik sağlayan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Guo ve Yu, 2022, s. 1). Blok zincir teknolojisi, kolektif bir defter tutma sistemi (defter-i kebir) sağlamakla beraber matematiksel bir fonksiyon vasıtasıyla bir işlemin onaylanması konusunda ağdaki katılımcıların ortak bir anlaşmaya varmasını sağlamaktadır (Holotiuk vd., 2017, s. 914). Bu teknoloji, platform işleyişini ve veri altyapısını yönetecek ana kuralları tanımlayan protokol ile birlikte otomatik işlemlere olanak tanıyan akıllı sözleşmeleri kapsamaktadır (Buterin, 2014, s. 1; Davidson vd., 2016, s. 6). Başka bir deyişle blok zincir, akıllı sözleşmelere ve diğer yardımcı teknolojilere imkân tanıyan veri modeline ve iletişim diline sahip olmakla beraber ortak mutabakatla oluşturulmuş blok zincir biçiminde inşa edilmiş eşten eşe bir dağıtık defter teknolojisidir (Belotti vd., 2019, s. 3798).

Blok zincir her bir elektronik para sahibinin, bir finansal kurumun takasa aracılık etmesine gerek kalmadan, aynı ağı bağlı herhangi bir tarafa doğrudan para transfer edilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla blok zincir teknolojisi, pek çok sayıda işlemi güvence altına alan omurga bir güvenlik hizmetidir (Garzik, 2015). Bir başka ifadeyle güveni ve otoriteyi, merkezi bir kurum yerine merkezi olmayan bir ağı yerleştirmektedir (Deloitte, 2016). Sonuç olarak blok zincir, her biri veri tabanının eş bir kopyasına sahip olan (dağıtık) ve herhangi bir merkezi sunucu ya da aracıyı görevlendirmeye gerek kalmadan saf matematiğe dayalı ortak bir anlaşmayla kayıtları değiştiren bir bilgisayar ağı olarak tanımlanabilir (WU GTPC, 2017, s. 3).

Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin devrim niteliğindeki yönü, blok zincir ile yazılım uygulamalarının merkezi bir sunucuda konuşlandırılmasına gerek duymadan yazılımı güvenli ve tek bir tarafça kontrol edilmeyen eşten eşe bir ağ üzerinden çalıştırılabilir olmasıyla kaynaklanmaktadır (Krishnan, 2023, s. 7; Smith, 2020, s. 11). Blok zincir tabanlı uygulamalar, güvenli bir aracıya ihtiyaç duymadan kendilerini organize edebilen çok sayıda kullanıcının faaliyetlerini koordine etmek için de kullanılabilirler (De Filippi, 2017, s. 2). Blok zincir teknolojisi; güvene dayalı olmayan bir ortamda, kullanıcılarına âdem-i merkeziyetçilik, bağımsızlık, bütünlük, değişmezlik, doğrulama, denetlenebilirlik ve şeffaflık gibi arzu edilen özellikleri sağlamaktadır. Diğer bir deyişle blok zincir teknolojisinde her kullanıcı bilgileri bütün olarak doğrulamak için ağ genelinde dağıtılan bir fikir birliği mekanizması kullanmaktadır (Tucker ve Catalini, 2018). Bu tür bir âdem-i merkeziyetçilik; sistemdeki taraflar arasında güven sağlamak ve şeffaflığı, veri değişmezliğini, güvenliğini ve verimliliğini artırmaktadır (Kim, 2022, s. 244). Bunun yanı sıra bir teknoloji olarak blok zincir, herhangi bir dijital bilgiyi kaydedebilmekte ve yönetebilmektedir. Buna ek olarak, kriptografi ile destekleyerek verilere katkı sağlayan kullanıcıların gizliliğini koruyabilmektedir. Sahip olduğu bu gelişmiş özellikleri sayesinde blok zincir teknolojisi dijital çağda hem akademik hem de sektörel alanda ilgi odağı haline gelmiştir. Vergisel alanda da günümüzde, mevcut vergi sistemlerini modernize edebilmek için dikkate alınması gereken önemli teknolojik yenilikler sunmaktadır. Blok zincir bu teknolojilerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.3. Dağıtık Defter Kavramı ve Teknolojisi

Blok zincir teknolojisini daha iyi anlamak amacıyla temelinde yer alan dağıtık defter kavramı ve teknolojisinin tanımlanması önem arz etmektedir. Bu kapsamda bu başlık altında tanımlamalarına yer verilmiştir.

1.3.1. Dağıtık Defter Kavramı

Dağıtık defter, yalnızca tek bir kişi tarafından değiştirilemeyen ve merkezi bir kayda ihtiyaç duymayan güvenli ve kalıcı bir kayıt sağlamaktadır. Aynı zamanda blok zincir teknolojisinin temelini oluşturan dağıtık defter; bir ağın katılımcıları ile paylaşılan, tekrarlanan ve senkronize edilen bir çeşit veri tabanı olarak tanımlanmaktadır (Lehman, 2016; WU GTPC, 2017, s. 3).

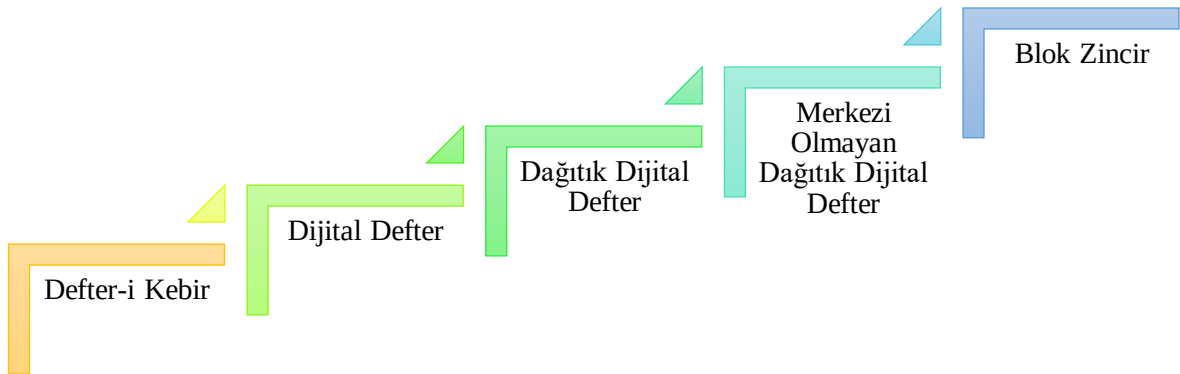
Dağıtık defterdeki her bir kaydın bir zaman damgası ve özgün bir kriptografik imzası vardır. Bu sayede, dağıtık defterde yer alan işlemlerin geçmişi denetlenebilmektedir. Dağıtık defter sisteminde, finansal sistem ağı boyunca çok sayıda özel kuruluş merkezi defterin birden fazla kopyasını tutmaktadır. Ağ üzerindeki dağıtılmış defterler ve dolayısıyla her bir işlem, kriptografiden türetilen ve çoğunlukla blok zincir olarak adlandırılan teknolojiler kullanılarak doğrulanmaktadır. Blok zincir teknolojisi, defterlerin doğruluğu hakkında ağdaki katılımcılar arasında bir uzlaşma sağlanmasına olanak tanımaktadır (He vd., 2016, s. 18). Ancak konunun daha iyi anlaşılması adına dağıtık defter türlerini incelemek büyük önem arz edecektir (Buterin, 2015):

- Bütünüyle halka açık sistemler: Bunlar merkezi olmayan ve tüm internet kullanıcılarına açık defterlerdir. Bir başka ifadeyle ağdaki tüm katılımcılar, işlemleri okuyabilmekle beraber işlem gönderebilir ve işlemlerin doğrulanmasına katılım sağlayabilirler. Bitcoin ve Ethereum gibi sistemlerdeki blok zincirleri, kriptografik doğrulamalardan oluşan bir kombinasyonla, iş kanıtı (Proof of Work) veya hisse kanıtı (Proof of Stake) gibi mekanizmalar kullanarak güvence altına almaktadır. Katılımcılar takma isimle bilinmektedirler. Gömülü bir para biriminin piyasaya sürülmesi, katılımcıların işlemleri doğrulaması ve blok zinciri muhafaza etmesi için teşvikler sağlamaktadırlar.

- Bütünüyle özel sistemler: Bu sistemlerdeki izinler merkezi bir kuruluş tarafından verilmektedir. Merkezi kuruluşun işlemleri doğrulamak için bilgisayar atayabilmesi nedeniyle özel bir sistemin gömülü bir para birimine ihtiyacı olmamaktadır.
- Hibrit veya konsorsiyum sistemleri: Bu sistemde mutabakat doğrulama süreci, finansal kuruluşlardan oluşan bir konsorsiyum veya bir şirketin önceden seçilen müşterilerinden oluşan bir grup tarafından kontrol edilmektedir. Bu sistemler kısmen merkezi olmayan sistemler olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla ilgili blok zinciri okuyabilme hakkı herkese açık olabilmekte ya da katılımcılarla sınırlı olabilmektedir.

1.3.2. Dağıtık Defter Teknolojisi

Defterler, bir işlemi veya bir olayı takip etmek için ihtiyaç duyulan temel altyapıyı oluşturmaktadırlar. Şekil 2’de görüldüğü üzere dağıtık defter teknolojisinin evriminin başlangıcında hesap kayıtlarının tutulmasına olanak tanıyan defter-i kebir yer almaktadır. Modern dünyada defterler, işlemlerin büyük ölçekteki finansal ve varlıksal hareketleri nedeniyle her zamankinden daha fazla önemli hale gelmektedirler. Dolayısıyla kayıt tutma işleminin kapsamı, dijitalleşme ile birlikte bilgisayar ağlarına taşınarak genişletilmiştir. Geleneksel defterlerden farklı olarak blok zincir; dijital defter, dağıtılmış veri depolama, mutabakat mekanizmaları ve şifreleme algoritmaları dâhil olmak üzere çeşitli bilgisayar teknolojilerini bir araya getirmektedir (Guo ve Liang, 2016, s. 1). Aynı zamanda blok zincir; merkezi olmayan, değişmez ve eşten eşe bir defterdir (Kim, 2022, s. 244).



Şekil 2. Dağıtık Defter Teknolojilerinin Evrimi: Klasik Defterden Blok Zincire (Belotti vd., 2019, s. 3797)’den faydalanılarak tarafımızca oluşturulmuştur.

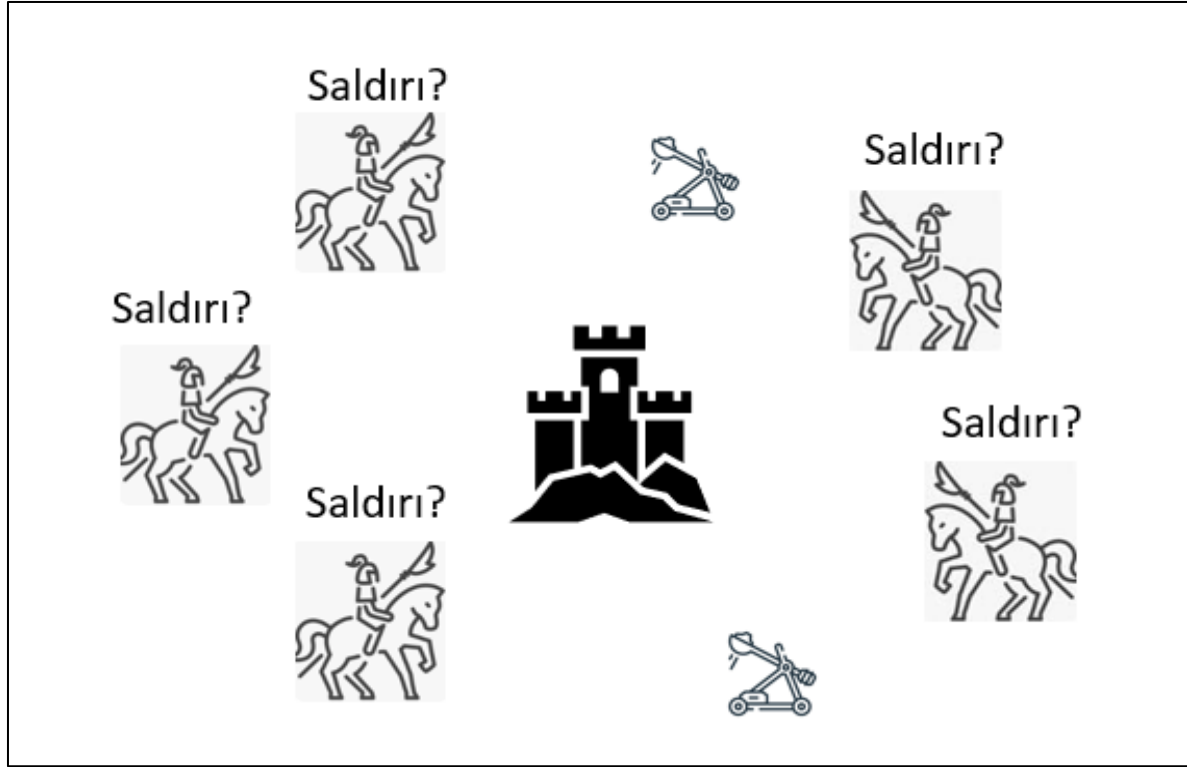
Bir başka ifadeyle blok zincir defteri, bir eşten eşe ağında yer alan düğümler arasındaki ilişkileri temsil eden dijital işlemleri içermektedir. Bu defter, ağdaki katılımcıların birbirleri arasında yapılan veri ve varlık alışverişi gibi işlemleri kaydetmektedir. Aynı zamanda ağdaki katılımcılar defterde yer alan kayıtların güncelleştirilmesini yönetmekle birlikte, bu konuda fikir birliğine varmaktadırlar (Bozdoğanoglu, 2020, s. 155). Dolayısıyla bu defterler veri süreçlerinin güçlü bir şekilde yönetilmesine imkân sağlamaktadırlar. Bu sayede blok zincirler, işlemlerin güvenli bir şekilde kaydedildiği değerli bir veri tabanı haline gelmektedir (Davidson vd., 2016, s. 5).

Daha açıklayıcı bir ifadeyle dağıtık defter teknolojileri, dağınık bir şekilde paylaşılan verilerle çalışmak amacıyla tasarlanmıştır ve blok zincir bunu gerçekleştirmek için uygun bir dağıtık defter teknolojisini temsil etmektedir (Belotti vd., 2019, s. 3796; Martino, 2021, s.10). Bu dağıtık defter teknolojisi ağının temel unsurları arasında; dijital defter, işlemleri onaylamak için kullanılan bir mutabakat mekanizması ve düğüm operatörleri ağı bulunmaktadır (Lewis vd., 2017, s. 1). Dolayısıyla bu dağıtık defter, merkezi olmayan bir düzen içinde dağıtılmış bir defterin muhafaza edilmesini ve güncel tutulmasını sağlayan bir teknoloji olmaktadır. Dağıtık olarak tasarlanan blok zincir ağı, ağdaki eşler arasında aynı defter verilerini güncelleyen ve senkronize eden birden fazla yedek kopya oluşturmaktadır. Burada sağlanan avantaj sayesinde zincirdeki her bir kullanıcı defterin bir kopyasını elinde tutabilmektedir. Böylece defterin kaybolmasını ve yok edilmesini önlemektedir (Yaga vd., 2018, s. 14). Dağıtık defterler Bitcoin öncesinde de bilinmelerine rağmen blok zincir, defteri tutmak için herhangi bir merkezi aracıya güven duyma gereksinimi göstermeden veriyi paylaşarak bu verileri depolamayı sağlaması açısından dağıtık defterlere yenilik kazandırmıştır (Belotti vd., 2019, s. 3798). Dolayısıyla blok zincir sistemleri dağıtılmış defter teknolojileri olarak bilinmektedirler (Werbach, 2021, s. 64).

1.4. Nakamoto Mutabakatı ve Bizans Generalleri Problemi

Özel bir teknoloji olarak âdem-i merkeziyetçiliği kolaylaştıran blok zincirler, dijital paralardaki çift harcama sorununu çözmektedir (Davidson vd., 2016, s. 6). Bitcoin'in çözümü olarak nitelendirilen Nakamoto Mutabakatı, paranın dijital dünyaya tam anlamıyla dönüşümünü engelleyen “çift harcama” problemini çözmek amacıyla tasarlanmıştır (Hans vd., 2017, s. 1; Natarajan vd., 2017, s. 3). Blok zincir teknolojisinin önemli yapı taşı olan

Nakamoto Mutabakatı, literatürde “Bizans Generalleri Problemi” olarak bilinen soruna çözüm önerisi olarak ele alınmıştır. Bizans Generalleri Problemi, Lamport vd., (1982) tarafından ortaya atılmıştır. Bizans Generalleri Problemi, bir grup generalin düşman şehre yapılacak saldırının nasıl koordine edilmesi gerektiği üzerine kuruludur.



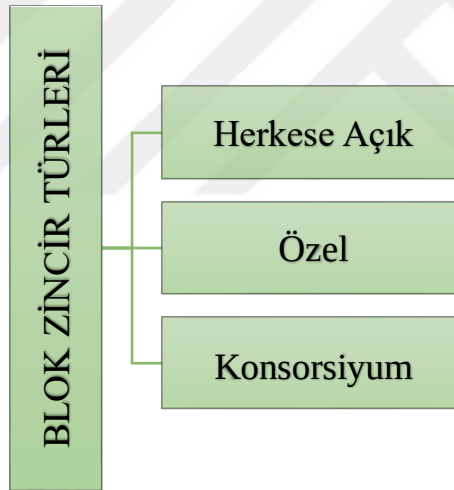
Şekil 3. Bizans Generalleri Problemi (Werbach, 2021, s. 55)

Burada üç temel sorun bulunmaktadır. İlk sorun, generallerin birbirlerinden uzak olmaları sebebiyle iletişim kurulmasında gecikmelerin yaşanmasıdır. İkinci sorun, generallere iletilen mesajların yanıtıcı mesaj olup olmadığı konusunda emin olunamamasıdır. Son sorun ise aralarından birinin onlara ihanet etme olasılığının olmasıdır. Kısacası buradaki önemli nokta, generaller arasındaki iletişim ağının güvenilir olup olmamasıdır. Bu durumda generallerin en iyi şekilde aralarındaki çoğunluğun razı olacağı ortak bir stratejiyi belirlemeleri gerekmektedir. Ancak merkezi bir otoriteye değil, yalnızca onlara gelen mesajlara güvenebilmektedirler. Bizans Generalleri Problemi, Bitcoin ağı katılımcılarının ağda gördükleri defter kaydının, katılımcıların çoğunluğunun ortak görüşünü yansıtıp yansıtmadığına dair güven arayışlarına benzetilmektedir (Werbach, 2021, s. 54; Zheng vd., 2018, s. 358).

Nakamoto Mutabakatı, Bizans Generalleri Problemi’ni temel olarak çözebilme potansiyeli olan ve böylece ağın kullanıcıların kimlik bilgilerini bilmesine gerek duymadan veya aralarındaki güven ilişkileri hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirmeden fikir birliğine varılmasını sağlayan bir iletişim protokolüdür. Bu mutabakat blok zincir olarak adlandırılan bir yapıyı tanımlamaktadır (Peters ve Panayi, 2015, s. 3).

1.5. Blok Zincirin Türleri ve Sınıflandırılması

Blok zincir, her biri uzlaşma sağlama ve âdem-i merkeziyetçilik derecesi bakımından kendine has özelliklere sahip olan herkese açık, özel ve konsorsiyum olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir (Buterin, 2015; Martino, 2021, s. 17; Yaga vd., 2018, s. 4).



Şekil 4. Blok Zincir Türleri (Martino, 2021, s. 17)

1.5.1. Herkese Açık Blok Zincirler

İzinsiz (permissionless) olarak da bilinen herkese açık blok zincirler bütünüyle dağıtık olmakla beraber bu zincirlerin tek sahibi yoktur. Daha açık bir ifadeyle herkesin doğrulama sürecine katılabilmesine imkân tanıyan izinsiz blok zincirler, herhangi bir ön yetkilendirme gerektirmemektedir (Kim, 2022, s. 263; Natarajan vd., 2017, s. 11; Peters ve Panayi, 2015, s. 5). Dolayısıyla, ağdaki herhangi bir katılımcı blok zincirdeki bilgilere erişebilmekle beraber mutabakat sürecinde de yer alabilmektedir (Belotti vd., 2019, s. 3799; Buterin, 2015). Herkese açık blok zincirler dünya geneline açık olduğu için beraberinde birçok aktif

kullanıcıyı çekebilmektedir. Her geçen gün sayısı hızla artan herkese açık blok zincirler ortaya çıkmaktadır (Zheng vd., 2018, s. 358). Bitcoin ve Ethereum bu blok zincirlerin en tipik örnekleri arasında yer almaktadır (Martino, 2021, s. 17; Peters ve Panayi, 2015, s. 5). Tüm bunlara ek olarak ağdaki her kullanıcıya açık olan izinsiz blok zincir ağları kötü niyetli kullanıcılar ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu kötü niyetli kullanıcılar, sistemi bozabilecek şekilde bloklar yayınlamaya çalışabilirler. Bunu önlemek amacıyla, blok zincir ağları işlemlerin daha kolay gerçekleşmesini sağlayarak düzenin korunması adına mutabakat mekanizmalarını kullanmaktadır. İş kanıtı ve hisse kanıtı, bu mutabakat mekanizmalarına örnek olarak verilebilir. Bu mutabakat sistemleri protokole uygun blokları yayınlayanları yerel bir kripto para birimleriyle ödüllendirerek bu tür bir kötü niyetin oluşmasını engellemeye çalışmaktadır (Yaga vd., 2018, s. 5).

1.5.2. Özel Blok Zincirler

Herkese açık blok zincirlerin aksine, bütünüyle özel diğer adıyla izinli (permissioned) blok zincirlerinde, kuralları ve tüm blok zincirini kontrol ederek nihai fikir birliğini belirleyen defterin sahibi veya yöneticisidir (Natarajan vd., 2017, s. 11). Bununla beraber, izinli blok zincirle, bir dizi güvenilir tarafın doğrulama işlemini yerine getirmesini sağlama veya merkezi bir otoritenin onayıyla sisteme ek doğrulama işlemini gerçekleştirmek amacıyla kullanıcılar eklenebilmektedir. Bu izinli blok zincir ağları, sahip oldukları blok zincirlerini daha yakından kontrol etmek ve korumak isteyen kuruluşlar tarafından kullanılabilir. Aynı zamanda birbirlerine tam manasıyla güven duymayan kuruluşlar birlikte çalışmak isteyebilirler. Bu kuruluşlar izinli bir blok zincir ağı kurarak iş ortaklarını, gerçekleştirdikleri işlemleri paylaşılan dağıtık bir deftere kaydetmeye davet edebilmekle birlikte birbirlerine duydukları güvene bağlı olarak kullanıcılar mutabakat mekanizmalarını belirleyebilmektedirler (Yaga vd., 2018, s. 6). Özel blok zincirlere örnek olarak Eris, Hyperledger ve XRP verilebilmektedir (Martino, 2021, s. 18; Peters ve Panayi, 2015, s. 7). Bu bağlamda Tablo 1’de herkese açık blok zincirler ile özel blok zincirlerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Tablo 1. Herkese Açık ve Özel Blok Zincir Türlerinin Karşılaştırılması

Özellikler	Herkese Açık Blok Zincirler	Özel Blok Zincirler
Merkezi Otorite	Merkezi yönetici yoktur.	Bir dereceye kadar dış yönetim veya kontrole sahiptir.
Erişim	Herkes katılabilir.	Yalnızca önceden seçilmiş katılımcılar ağı katılabilir.
Güven Düzeyi	Ağ katılımcılarının birbirlerine güven duyması önem arz etmez.	Ağ katılımcılarının birbirlerine yüksek güven duymaları önem arz etmektedir.
Genellik	Büyük defter açık ve şeffaftır (Tüm ağ katılımcıları arasında paylaşılmaktadır).	Büyük defterin farklı derecelerde açıklığı ve şeffaflığı mümkündür.
Güvenlik	Kapsamlı bir ağda dağıtım yoluyla sağlanan güvenlik mevcuttur.	Daha küçük ölçekli ağlarda dağıtılmış defter teknolojisi ile birleştirilmiş erişim kontrolü yolu ile sağlanan güvenlik mevcuttur.
Hız	Yavaş işleyen işlem süreci dolayısıyla işlem hacmi kısıtlanmaktadır.	Daha hızlı işlem süreci, daha yüksek işlem hacmi sağlamaktadır.
Kimlik Bilgisi	Anonim veya takma isim kullanılmaktadır.	Kimlik doğrulaması dış yönetici tarafından istenir.
Mutabakat Mekanizmaları	İş kanıtı gereklidir.	Çeşitli mutabakat mekanizmaları mümkündür.
Varlık	Genel olarak yerel kripto para birimleri vardır.	Herhangi bir varlık yoktur.
Örnekler	Bitcoin, Ethereum	R3's Corda, Hyperledger Fabric

Kaynak: Natarajan vd., 2017, s. 12

İzinli ve izinsiz blok zincirler arasındaki farka baktığımız zaman basit bir anlatımla, izinli bir blok zincir ağı denetlenebilen kurumsal bir internet gibi çalışırken, izinsiz bir blok zincir ağı herkesin katılabildiği halka açık internet gibi çalışmaktadır (Yaga vd., 2018, s. 4). Genel olarak herkese açık blok zincirler, kripto para birimlerinin faaliyet gösterdiği alanlar olmakla beraber özel blok zincirler, finans sektörü gibi alanlarda kullanılmaktadır (Martino, 2021, s. 18). Özel blok zincirlerinin avantajı ölçeklenebilir olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, herkese açık blok zincirlerinde ağdaki her bilgisayarda veriler depolanmakla beraber her düğüm tüm işlemleri doğrulamaktadır. Dolayısıyla burada bu doğrulama işlemini gerçekleştirebilecek kullanıcılar azalabilir bu da merkezileşmeye neden olabilmektedir. Özel blok zincirlerinde, önceden seçilmiş daha az sayıda katılımcı faaliyet göstermesinden ötürü işlem sayısındaki

artışa paralel olarak bilgi işlem güçlerini ölçeklendirebilmektedirler. Aynı zamanda bu az sayıda olan katılımcı dolayısıyla kullanıcıların iş birliğini sağlaması, kuralları değiştirmesi veya işlemleri geri alması çok daha kolay olmaktadır. Kısacası herkese açık blok zincirler gibi “sansüre dirençli” olmamaktadırlar (Peters ve Panayi, 2015, s. 7).

1.5.3. Konsorsiyum Blok Zincirler

İki model arasında yer alan diğer bir üçüncü sınıflandırma ise, mutabakat sürecinin daha önce seçilmiş olan düğüm kümesi tarafından kontrol edildiği konsorsiyum olarak adlandırılan konsorsiyum blok zincirler olmaktadır. Konsorsiyum blok zincir, kısmen merkezi olmayan bir blok zincir türüdür (Kim, 2022, s. 266). Bu tür blok zincirler, ortak bir amacı gerçekleştirmek isteyen ve iş gereksinimini paylaşan birden fazla kuruluşun ortak çabasını temsil etmektedir (Belotti vd., 2019, s. 3799). Konsorsiyum blok zincirler, herkese açık blok zincirler tarafından sunulan “düşük güven” ile özel blok zincirler tarafından sağlanan “yüksek güven duyulan tek bir varlık” modeli arasında bir kombinasyon sağlamaktadır (Buterin, 2015). Daha açık bir ifadeyle konsorsiyum blok zincirler özellikle ağın bir bölümünün halka açık olması (herhangi bir katılımcı tarafından erişilebilir) ile beraber mutabakat sürecinde sadece imtiyaza sahip olan kesimin sorumlu olması açısından bir kombinasyonu oluşturmaktadırlar (Martino, 2021, s. 18). Buna ek olarak, kriptografik denetlenebilirliğe sahip geleneksel bir merkezi sistem olarak tanımlanabilmektedir. Buradaki kriptografik denetlenebilirlikten kasıt, kriptografik kimlik doğrulamasıdır. Bu tür bir kimlik doğrulamanın en uygun yöntemi ise Merkle Ağaç kökleri içeren bir dizi karma (hash) bağlantılı veri paketinden ibaret olmasıdır (Buterin, 2015).

1.6. Blok Zincirin Temel Unsurları

Blok zincir teknolojisinin temel unsurları, blok zincirin işlevselliği ve etkinliği için büyük önem arz etmektedir. Blok zincir teknolojisinin özünde, işlemlerin doğrulanması ve kaydedilmesi sürecine birden fazla düğümün katılmasına olanak tanıyan ve tüm sistem üzerinde yalnızca tek bir varlığın denetim sahibi olmadığı bir başka ifadeyle merkezi olmayan bir ağ yapısı bulunmaktadır. Söz konusu unsurlar bu ağ yapısının çalışma prensibinde kritik rol oynamaktadırlar. Bu unsurlar; düğümler, nonce sayısı, madencilik, Merkle Ağacı, karma (hash) fonksiyonları, blok yapısı, kriptografi, özel anahtar depolaması: cüzdan, mutabakat mekanizmaları olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.6.1. Dügümler

Blok zincir teknolojisinde “düğüm”, her biri tamamen aynı veri kayıtlarına sahip olan ve dağıtılmış bir bilgisayar sunucuları ağı tarafından toplu olarak muhafaza ve kontrol edilen cihazlar olarak tanımlanmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 1). Bir başka ifadeyle, blok zincir ağına katılan ve ağ üzerinde faaliyet gösteren cihazlar olarak tanımlanabilmektedir. Bir bilgisayar, telefon veya yazıcı gibi herhangi bir aktif elektronik cihaz, internete bağlı olduğu sürece düğüm olabilir (Atabaş, 2018, s. 28). Blok zincirde, farklı işlevlere sahip olarak işlem yapan farklı türde düğümler bulunmaktadır. Bunlar Bitcoin blok zinciri söz konusu olduğunda, dört ana düğümden bahsetmek mümkündür (Beedham, 2019).

1.6.1.1. Tam Dügümler

Adından da anlaşılacağı üzere, bu tür düğümler tüm blok zincir defterinin kopyalarını tutmak ve dağıtmaktan sorumludur (Kimani vd., 2020, s. 5). Dolayısıyla, blok zincirin tüm geçmişini doğrulamak için başvurulacak nokta olduklarından ağda hayati bir rol üstlenmektedirler. Tam düğüm, işlemleri genesis bloğuna kadar doğrulayabilir, yayın sırasında tüm blok zincirinin boyutu 200 GB'a ulaşmaktadır ve blok zincir yazılımını günde en az altı saat çalıştırması beklenmektedir (Bitcoin, 2022). Bu tür düğümler; işlemleri oluşturma, teslim alma, doğrulama, saklama ve düğümler arasında aktarma işlevlerini yerine getirebilirler (Kimani vd., 2020, s. 5). Aynı zamanda aktif üyeler olarak tam düğümler, protokol değişikliği gibi karar alma süreçlerinde yer almak da dâhil olmak üzere blok zincirin çalışması için gerekli işlevleri yerine getirmektedirler. Örneğin blok zincir teknolojisinin dağıtık yapısı, düğümlerin sayısı artırılarak siber saldırılara karşı daha dirençli hale getirilmesi sağlanabilmektedir. Bunun nedeni, düğüm sayısının artırılması ile kötü niyetli bir ağ katılımcısının blok zincir tarafından kullanılan mutabakat protokolünü etkileme kabiliyetini azaltmaktadır (Yaga vd., 2018, s. 3).

1.6.1.2. Hafif Dügümler

Bir diğer adıyla “ince düğümler”, tam düğümlere benzer bir işlevi yerine getirmektedirler. Ancak bu düğümler blok zincirin tüm bir kopyasını tutmak yerine, sadece onun bir bölümünü içermektedirler. Bir başka ifadeyle hafif düğümler tüm işlem geçmişini saklamaz.

yalnızca işlemlerin doğrulanmasına yardımcı olmaktadır (Kimani vd., 2020, s. 5). Dolayısıyla kendi blok zincir kaydı olmayan hafif bir düğüm, bilgi ve işlemlerini yayınlamak için tam düğümlere ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, eğer tam düğüm saldırıya uğrayarak blok zincirin yanlış bir kopyasını tuttuğu zaman hafif düğümler bu blok zinciri yanlış olarak reddedebilir ve tam düğüme tutması gereken doğru blok zinciri onaylatabilirler. O halde bir grup hafif düğümleri, tüm düğümleri doğru yola yönlendirmesine yardımcı olan bir grup destekleyici arkadaş olarak düşünülebilmektedir. Bu tür düğümün kullanılması, blok zincir ağının merkezileştirilmesine ve doğru kayıt defterinin tam düğümlere kıyasla daha düşük bir maliyetle daha geniş bir mesafeye yayılmasına yardımcı olmaktadır (Asolo, 2018).

1.6.1.3. Madenci Düğümü

Bir merkezi otoritenin olmaması, blok zincir ağındaki işlemlerin bizzat kullanıcılar tarafından doğrulanmasını ve sürdürülmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu durum, blok zincirin en önemli konusu olan madenciliğin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Madenciler tarafından blok zincir ağındaki tüm işlemler doğrulanır ve yeterli üstünlük sağlandığında ilgili bilgiler tüm ağa paylaşılır. Bu hizmetler karşılığında madenciler ödül almakta ve sistem tarafından üretilen ödül paralarını paylaşarak üçüncü bir merkezi otoriteye olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadırlar (Gerdan, 2019, s. 8).

Genel anlamda madencilik olarak bilinen yeni bir blok oluşturma ve oluşan bu bloğun zincire eklenme süreci içinde, bu listeye eklenecek blokları onaylayan madenci düğümleridir. Madenci düğümler, blok zincir için blokları üreten düğümler olarak düşünülmektedirler. Bu bloklar oluşturulduktan sonra, ağ aracılığıyla bunları doğrulayan ve bu blokları blok zincirine ekleyen tam düğümlere gönderilmektedir (Transak, 2024).

1.6.1.4. Doğrulayıcı Düğüm

Doğrulayıcı düğümler bir dizi kuralı uygulayarak blok zinciri doğrulamaktadırlar. Ağın tamamı bu kuralları takip ettiği zaman, tüm düğümlerin aynı blok zincirini oluşturmak için birbirine yardımcı olması gerekmektedir. Burada doğrulamanın aslında bir blok çıkarılmadan önce gerçekleştiği unutulmamalıdır. Çünkü doğrulama mutabakat ile aynı anlama gelmemektedir. Mutabakata, madencilik düğümleri hangi işlemlerin geçerli olduğu

konusunda değil, işlemlerin sırası konusunda hemfikir olunduğunda ulaşılmaktadır (Transak, 2024).

1.6.2. Nonce Sayısı

Nonce, özgün bir tanımlayıcı sayıdır (Beedham, 2019; Rogaway, 2004). Bir başka ifadeyle nonce, blok zincirde hedeflenen hash değerine ulaşmak amacıyla bloğun hash değerini üretirken kullanılan rastgele tanımlayıcı sayı olarak bilinmektedir (Yaga vd., 2018, s. 15).

1.6.3. Madencilik

Bitcoin ve Ethereum gibi çeşitli kripto para ağlarında işlemleri doğrulama ve yeni bloklar oluşturma sürecine “madencilik” adı verilmektedir. Madencilik, herhangi bir iş kanıtı blok zincirde “madenci” olarak isimlendirilen katılımcıların blok değerinin hesaplanması açısından karmaşık ve daha zorlu matematiksel denklemleri çözmesini gerektirmektedir. Bu denklemlere ilişkin çözüm, işlemlerin doğrulanması ve yeni bir blok oluşturulması için madencilerin tamamladıkları işin kanıtı olarak işlev görmektedir. Dolayısıyla madenciler bu çalışmanın karşılığı olarak ağ aracılığıyla çıkarılan ve ağın özgün kripto para birimi cinsinden ifade edilen yeni Coin’ler şeklinde belirli bir miktar ödül almaya hak kazanırlar (Kim, 2020, s. 5).

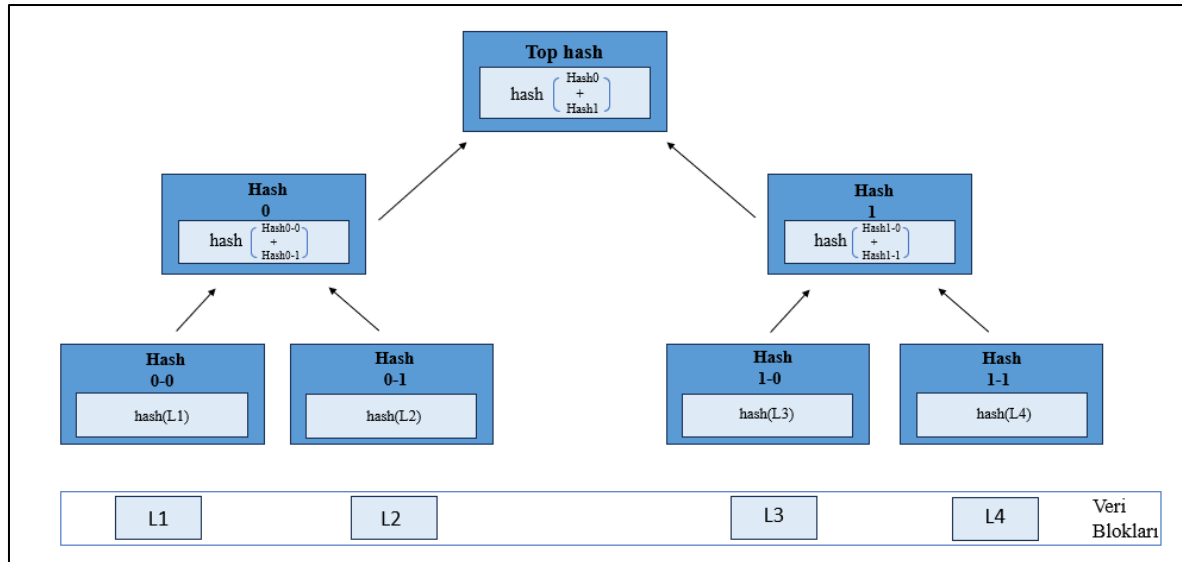
1.6.4. Merkle Ağacı

Ralph Merkle’nin 1987 yılında yayımladığı ve patentini “Geleneksel Şifreleme Fonksiyonuna Dayalı Dijital İmza” adlı makalesi ile aldığı “Merkle Ağacı” ismini kullanarak tanımlamıştır. Aynı zamanda “ikili karma (hash) ağacı” olarak da bilinen Merkle Ağacı (Antonopoulos, 2014, s. 201), Bitcoin gibi kripto para birimlerinde blok zincir verilerinin daha etkin ve güvenilir bir şekilde kodlanmasına yardımcı olmaktadır (Investopedia, 2021). Özetle blok zincir, Merkle Ağacı adlı veri yapısının kullanılmasıyla oluşturulan ve geçmiş işlemlerin kaydedildiği bir kayıt olarak da ifade edilebilir. Merkle Ağacı, çok fazla olan veri yapılarının tamamının etkin bir şekilde doğrulanmasını sağlamaktadır (Werbach, 2021, s. 27).

Satoshi Nakamoto, Merkle Ağacı yapısından Bitcoin’in alt yapısını oluşturmak amacıyla yararlanmıştır. Bu Ağacı yapısı güvenilir ve etkin bir dijital kayıt oluşturmaktadır. Bu kaydı,

tüm işlem setinin toplam dijital parmak izini üreterek ve bir işlemin bir bloğa dâhil edilip edilmediğini doğrulayarak süreci etkin bir biçimde gerçekleştirerek sağlamaktadır. “Ağaç” kavramı bilgisayar bilimi alanında dallanan bir veri yapısını ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu ağacın şekli genel olarak “kök” şemanın üst kısmında ve “yapraklar” alt kısmında olacak şekilde baş aşağı gösterilmektedir. Ağaç yapısına benzetilmesinin temel nedeni ise Merkle Ağacı tarafından gerçekleştirilen karmaşık işlemleri çiftler halinde birleştirilerek tek bir yapıya ulaştırmasıdır (Antonopoulos, 2014, s. 201; Atabaş, 2018, s. 34).

Merkle Ağacı oluşturma algoritması, her alt seviyedeki iki düğümün üst seviyedeki bir düğüme gruplanacağı şekilde bu düğümleri ayrık gruplar halinde gruplandırır ve her alt seviye düğüm çifti için her birinin hash değerini içeren yeni bir veri düğümü oluşturmaktadır (Zhang vd., 2019, s. 5). Merkle Ağacı’nın amacı, bir blok içerisindeki verilerin bölüm bölüm iletilmesini sağlamaktır. Bir düğüm, blok zincirden bir bloğun yalnızca başlığını, başka bir bloktan da ağacın kendisiyle ilgili küçük bir kısmını indirebilir. Böylelikle tüm verilerin doğruluğu tespit edilebilecektir. Bu şekilde olmasının nedeni, hash değerlerinin yukarı doğru ilerlemesinden kaynaklanmaktadır. Eğer kötü niyetli bir kullanıcı Merkle Ağacı’nın en altına sahte bir işlem yerleştirmeye çalışırsa, bu değişiklik bir üstteki düğümlerde değişikliğe neden olabilecektir. En sonunda ise ağacın kökünü ve dolayısıyla bloğun karmasını değiştirerek protokolün bunu tamamen farklı bir blok olarak kaydetmesine yol açabilecektir (Buterin, 2014, s. 10).



Şekil 5. Blok Zincirin Merkle Ağacı Yapısı (Werbach, 2021, s. 27)

1.6.5. Karma Fonksiyonu

Karma, blok zincir teknolojisinin temelini oluşturmakla beraber bu teknolojinin güvenilirliğini korumaktadır (Atabaş, 2018, s. 30). Karma, açık bir metnin bir dizi matematiksel algoritmalar kullanılarak şifrelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Hash çıktısı, özgün girdiyle ilişkisiz ve tesadüfi gibi görünen fakat aslında belirlenebilir olan tanımlanmış uzunlukta bir “karma” olarak bilinmektedir. Hash fonksiyonları ise verileri özetleyerek sabit uzunlukta bir çıktı üreten matematiksel algoritmaları ifade etmektedir. Bu algoritmalar bir nevi, verinin gerçekliğini doğrulamak ve özgünlüğünü kanıtlamak amacıyla kullanılmaktadır. Blok zincirdeki her bir yeni veri girişi başka bir ifadeyle işlem kaydı özetlenerek bir kriptografik karma fonksiyonu başlangıçtaki mesaja uygulanmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 8; Yaga vd., 2018, s. 7).

SHA-1 ve SHA-2 gibi belirli uzunluklarda hash değerleri üreten “Güvenli Hash Algoritması” ((SHA) Secure Hash Algorithm), bir karma fonksiyon algoritmasıdır. Birçok blok zincir uygulamasında kullanılan ve güvenlik uygulamalarında tercih edilen SHA-256, en yaygın olarak kullanılan hash fonksiyon çeşidi olmaktadır. Bu fonksiyonun en önemli özelliği şifrelemenin tek yönlü olmasıdır. Bu fonksiyona yazılan girdiler, herhangi bir mesaj veya dosya olabilir. Veri girişi sonucunda sabit uzunlukta bir çıktı elde edilir. Bu çıktı 256-bit gibi değişmez uzunlukta bitler olmaktadır. SHA-256 hash fonksiyonu, şifreleme amacını gerçekleştirmek için 0’dan 9’a kadar olan rakamlar ile 6 adet harf kullanmaktadır. Bu fonksiyon her zaman 64 karakter uzunluğunda bir şifreli metin vermektedir. Bu çıktı, “hash” veya mesajın “karması” olarak adlandırılmaktadır (Yaga vd., 2018, s. 7). Örnek olması amacıyla Tablo 2’de SHA-256 hash fonksiyonunun girdi kısmına açık bir metin olarak “TÜRKİYE” ve “AKSARAY ÜNİVERSİTESİ” yazıldığında elde edilen şifreli metinler görülmektedir.

Tablo 2. Girdi Metinleri ve Karşılık Gelen SHA-256 Hash Değerleri Örneği

Girdi Metni	SHA-256 Hash Değeri
TÜRKİYE	2bc3c7ae25d95ec98a8ec0233f0d9213c9138714df9bd9c65f426fa0f2aa5661
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ	20e5572609e2edbf37b22fe8a20004e2a93ac1c55e3e7acedf469769351faff1

Kaynak: Tarafımızca oluşturulmuştur.

256 bitlik bir sayı olarak ele alınan her bloğun SHA-256 karmanının dinamik olarak ayarlanan bir hedeften daha az olması gereklidir. Bu hedef yazının yazıldığı sırada yaklaşık 2^{190} olmaktadır. Bunun yapılmasındaki neden, blok oluşturma hesaplamasını zor hale getirmek istenmesidir. Bu sayede siber korsanların, bütün blok zinciri kendi çıkarlarına göre yeniden oluşturmaları engellenmektedir. SHA-256 tamamen öngörülemez bir sözde rastgele fonksiyon olarak tasarlandığından, geçerli bir blok oluşturma tek yolu deneme yanılma yöntemiyle nonce değerini devamlı olarak artırmak ve yeni karma değerlerin eşleşip eşleşmediğini görmektir. Mevcut 2^{192} hedef değerinde bu, ortalama 264 deneme yapılması anlamına gelmektedir. Genellikle hedef her 2016'da bir ağ tarafından yeniden kalibre edilmektedir. Böylece her on dakikada bir yeni bir blok ağdaki bir düğüm tarafından üretilmektedir (Buterin, 2013). Dolayısıyla bir blok zincir ağı içerisinde kriptografik hash fonksiyonları, blok verilerin güvenliğinin sağlanması amacıyla önem arz etmektedir (Yaga vd., 2018, s. 8).

1.6.6. Blok Yapısı

Verilerin bir blok zincir tabanlı dağıtık bir deftere kaydedildiği süreç, deftere kaydedilecek işlemlerin bir başka ifadeyle dijital mesajların hash değerleri, mutabakat mekanizması çıktısı, mesajı gönderenin özel anahtarı ile hash değerlerinin dijital imzasını ve son olarak gönderenin ve işlemin hedeflenen alıcısının açık anahtarlarını içeren kronolojik bir sırayla “işlem blokları” zinciri ile başlamaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 9). Zincirdeki ilk blok “genesis” olarak adlandırılmaktadır (Antonopoulos, 2014, s. 198; Belotti vd., 2019, s. 3798; Natarajan vd., 2017, s. 9; Zhang vd., 2019, s. 4; Zheng vd., 2018, s. 355). Blok zincir defterinde her işlem bloğu bir hash değeri vasıtasıyla “parent” blok olarak bilinen kendinden hemen önceki bloğa bağlanmaktadır (Belotti vd., 2019, s. 3823; Kimani vd., 2020, s. 3; Zheng vd., 2018, s. 355).

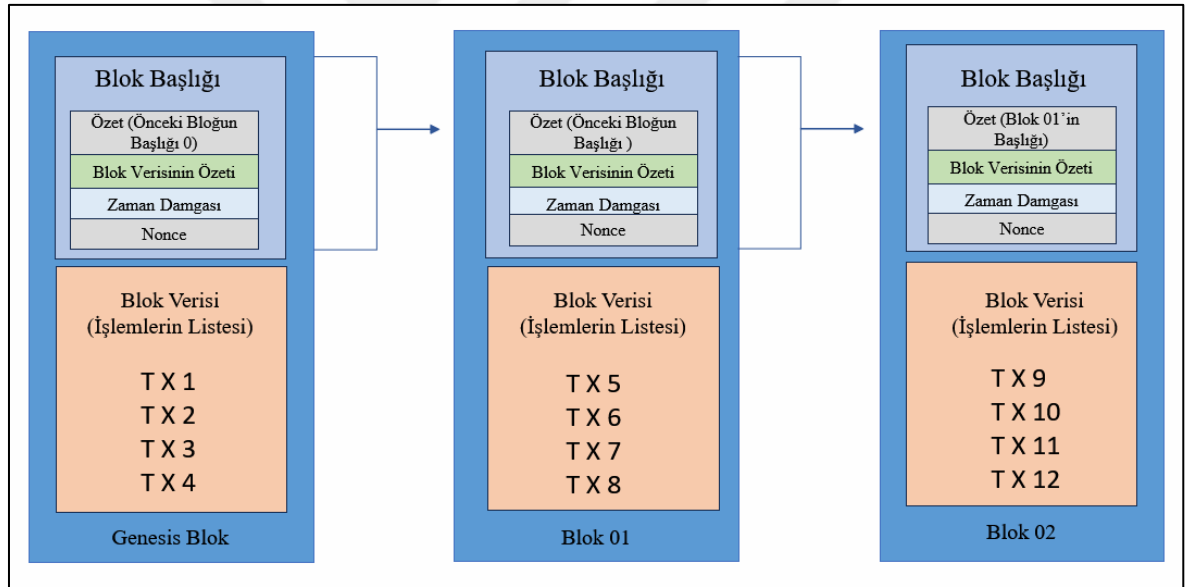
Blok zincirdeki bir blok, blok başlığı ve blok verisi içermektedir. Blok başlığı bu blok için gerekli olan verileri barındırmaktadır. Blok verileri ise blok zincir ağına iletilmiş olan onaylanmış ve gerçek işlemlerin bir listesini içermektedir. Her blok zincir uygulaması kendi veri alanlarını tanımlayabilmektedir. Ancak birçok blok zincir uygulaması aşağıdaki veri alanlarını kullanmakta ve Şekil 6'da süreklilik arz eden bloklar dizisinden oluşan bir blok zincir örneğine yer verilmektedir (Yaga vd., 2018, s. 15):

➤ Blok Başlığı:

- Blok numarası, aynı zamanda bazı blok zincir ağlarında blok yüksekliği olarak da bilinmektedir.
- Bir önceki blok başlığının hash değeri,
- Blok verilerinin bir karma gösterimi,
- Bir zaman damgası,
- Bloğun boyut değeri,
- Nonce değeri, blok zincirinde hedeflenen hash değerine ulaşmak amacıyla bloğun hash değerini üretirken nonce değeri değiştirilmektedir.

➤ Blok Verileri:

- Blok içinde yer alan işlemlerin ve defter kayıtlarının bir listesi ve
- Diğer veriler mevcut olabilir.



Şekil 6. Süreklilik Arz Eden Bloklar Dizisinden Oluşan Bir Blok Zincir Örneği (Werbach, 2021, s. 57; Yaga vd., 2018, s. 17; Zheng vd., 2018, s. 355)’ten faydalanılarak tarafımızca oluşturulmuştur.

Dolayısıyla blok zincirde hash değerleri, zincirdeki blokları birbirine bağlamaktadır. Yeni bloklar yalnızca merkezi olmayan mutabakat sürecinin başarılı bir şekilde tamamlanmasıyla küresel blok zincirine dâhil edilebilir (Zhang vd., 2019, s. 3). Martino’nun (2021) çalışmasında ilk blok zincirin, bir ağın katılımcılarının dağıtılmış bir defteri olduğuna, ikinci blok zincirinin, kullanıcıların merkezi bir otorite veya kontrol noktası olmadan bağlanmasına imkân tanıyan eşten eşe teknolojiyi kullandığına, üçüncü blok zincirinde ise işlemler,

kendilerinden önceki bloklarla bağlantılı bloklar halinde gruplandırılarak altta yatan işlemlerin izi sürülmekte olduğundan bahsedilmektedir.

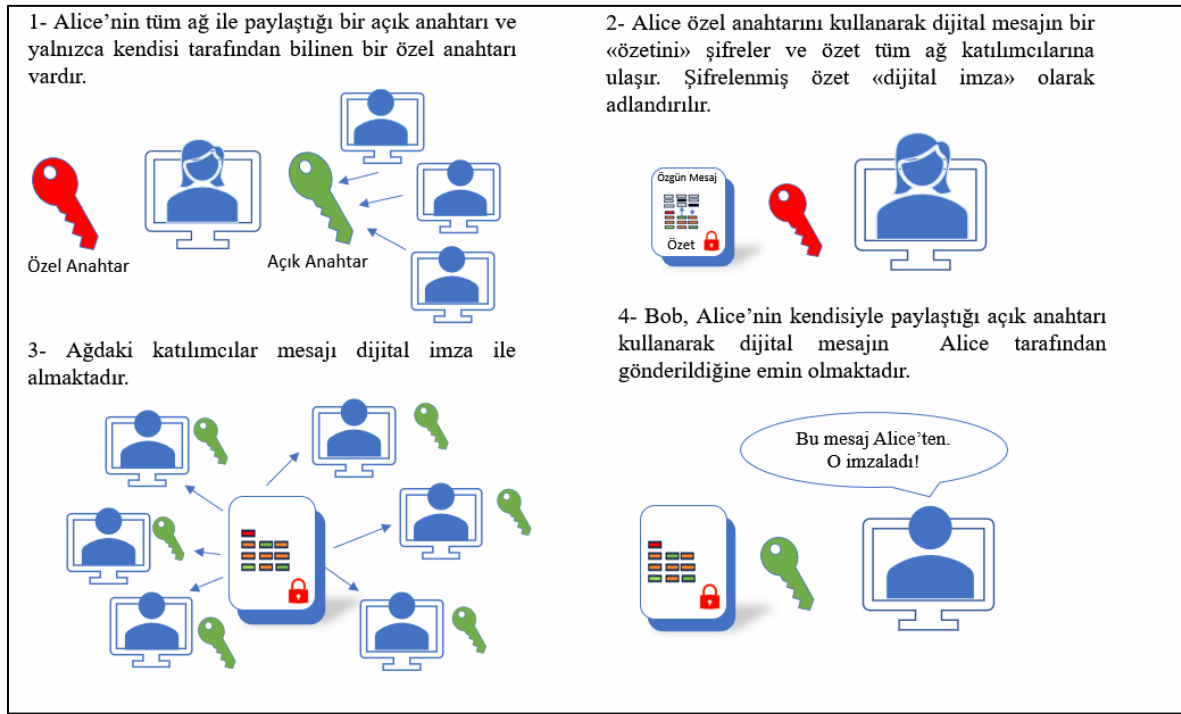
Her bir blokta, kayıt defterine işlenecek veri ve verinin kaydedildiği zamanı gösteren tarih bilgisi ile bir önceki bloğun SHA-256 hashı bulunmaktadır. Bu sayede her bir bloğa bir önceki bloğun hash değerinin dâhil edilmesiyle blokların bütünlüğü ve sırası güvence altına alınmış olmaktadır. Dolayısıyla mevcut bir bloğun verilerinde yapılacak herhangi bir değişiklik tüm blokların hash değerinin değişmesine neden olmaktadır. Blok zincirin güvenilir olmasına neden olan durum, birbirlerine bağlı olan zincirdeki blokların sahip oldukları verilerin değiştirilebilmesi için öncelikle genesis bloğundaki verinin değiştirilmesinin gerekli olmasıdır (Atabaş, 2018, s. 28).

Ayrıca her blok kendinden önceki bloğun verilerini onaylamakta ve güçlendirmektedir. Diğer bir ifadeyle, zincirdeki son blok göz önüne alındığında, zincirde birbirleriyle bağlantılı diğer tüm önceki bloklara erişim mümkün olmaktadır. Böylelikle blok zincir veri tabanı, ilk bloktan itibaren gerçekleştirilen tüm kayıtların ve talimatların tüm geçmişlerini saklayarak verileri bağımsız bir şekilde denetlenebilir ve doğrulanabilir bir konuma getirmektedir (Deloitte, 2016, s. 5).

1.6.7. Kriptografi

Blok zincir, güvenilir bir biçimde kayıtların ve işlemlerin gerçekleşmesini sağlamak amacıyla birbirine güven duymayan taraflar arasında bir güven katmanının oluşmasını sağlamaktadır. Blok zincir olmadığında, bu güven katmanının oluşturabilmek için üçüncü bir tarafa ihtiyaç duyulmaktadır. Blok zincir, kriptografiyi kullanarak merkezi bir kurumun aracı olarak hareket etme ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla zincirdeki bilgiler kriptografi kullanılarak deftere kaydedilmektedir (Guo ve Yu, 2022, s. 4). Zincirdeki bloklar gerçekte bir sözleşmenin imzalanmasına benzer şekilde dijital imza ile kayıt altına alınmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 8). Bu doğrultuda blok zincir teknolojisi birbirleriyle matematiksel olarak ilişkili olan açık ve özel anahtar çiftleri olarak bilinen asimetrik anahtar kriptografisi kullanmaktadır. Bu kriptografi, bir yandan işlemlerin bütünlüğünü ve gerçekliğini doğrulamak amacıyla mekanizma sağlarken, diğer yandan işlemlerin herkese açık kalmasına izin vererek birbirlerine güven duymayan veya birbirlerini tanımayan kullanıcılar arasında bir güven ilişkisinin sağlanmasına olanak tanımaktadır (Yaga vd., 2018, s. 11).

Özel ve açık anahtar çiftleri, kişilerin birbirlerine iletme üzere bilgileri şifrelemelerini sağlamakla beraber, alıcı taraf daha sonra mesajın gerçekten doğru kişiden gelip gelmediğini ve tahrif edilip edilmediğini belirleyebilmektedir (Peters ve Panayi, 2015, s. 4). İşlemin güvenliğini azaltmadan herkese açık hale getirilen açık anahtar, verilerin kriptografik korunmasının sürdürülmesi amacıyla özel anahtarın gizli kalması önem arz etmektedir. Tıpkı internete yönelik diğer pek çok teknolojiler gibi blok zincirlerinde de kullanıcıları yetkisiz kişilerin hesaplarının kontrolünü ele geçirmesine karşı korumak amacıyla açık anahtar kriptografisi kullanılmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 8). Bu doğrultuda Şekil 7’de dijital imzalar için açık anahtar kriptografisi yer almaktadır.



Şekil 7. Dijital İmzalar İçin Açık Anahtar Kriptografisi (Natarajan vd., 2017, s. 8)

Blok zincir ağ katılımcılarının her biri, yalnızca kullanıcı tarafından bilinen ve dijital mesajları imzalamak amacıyla kullanılan bir özel anahtara sahip olmakla beraber aynı zamanda dijital mesajı gönderenin kimliğini doğrulamak amacıyla kullanılan açık anahtara da sahip olmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 9; Zhang vd., 2019, s. 5). Ayrıca açık anahtar mesaj alan kişiyi tanımlamak için de kullanılmaktadır. Özet bir ifadeyle blok zincirde işlemler, mesaj göndericisinin sahip olduğu kendine özel anahtarı tarafından dijital olarak imzalanmakta ve ilgili açık anahtar kullanılarak herhangi bir zamanda doğrulanabilmektedir (Yaga vd., 2018, s. 10).

1.6.8. Özel Anahtar Depolaması: Cüzdan

Blok zincir ağlarındaki kullanıcıların, kendi özel anahtarlarını güvenli bir şekilde yönetmesi ve saklaması gerekmektedir. Cüzdanlar, yapılan işlemin güvenliğini sağlamak amacıyla bir genel ve özel anahtardan oluşan bir anahtar çiftine dayalı asimetrik kriptografi kullanmaktadır (OECD, 2024, s. 14). Bu anahtarları el ile kayıt almaktan ziyade, yazılım kullanarak anahtarların güvenli bir şekilde korunması sağlanmaktadır. Bunu sağlayan yazılım “cüzdan (wallet)” olarak adlandırılmaktadır (Yaga vd., 2018, s. 13). Cüzdan adresi, genel anahtarın kriptografik olarak kodlanmış bir versiyonudur. Aynı zamanda eşlik eden özel anahtar kullanıcı için gizli tutulmaktadır (OECD, 2024, s. 14).

Blok zincir teknolojisi ve âdem-i merkezîyetçi finansın dinamik dünyasında bu cüzdanlar, dijital varlıkları güvence altına almak için bir geçit olmaktadır. Özünde, kullanıcıların sahip oldukları dijital varlıklarının güvenli bir şekilde saklamalarını ve yönetmelerini sağlayan bir yazılım uygulaması olarak tanımlamak da mümkün olmaktadır (Chandler, 2023; FATF, 2014). Cüzdanlar, her biri güvenlik gereksinimlerine hitap eden; sıcak cüzdanlar ve soğuk cüzdanlar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Buna göre (Chandler, 2023; Kimani vd., 2020, s. 3):

- Sıcak Cüzdanlar: Bu cüzdanlar internete bağlanmaktadır. Bir başka ifadeyle, kullanıcılar herhangi bir cüzdan yazılımı indirmeye ihtiyaç duymadan, internet tarayıcılarını kullanabilir veya bilgisayarlarına cüzdan yazılımı yükleyebilmektedirler. Ancak bu tür cüzdanlar siber tehditlere karşı daha savunmasız durumdadırlar. Aynı zamanda bu tür cüzdanlar, bulut sunucularında barındırılan çevrimiçi cüzdanlar ve kullanıcının bilgisayarına yüklenen masaüstü cüzdanlar olarak sınıflandırılmaktadırlar.
- Soğuk Cüzdanlar: Kullanıcılar kriptografik anahtarlarını ve adreslerini hızlı yanıt kodu formatında kâğıda yazdırabilmekte veya kriptografik anahtarları ve adresleri çevrimdışı olarak üreten bir donanım cüzdanı kullanabilmektedirler. Aynı zamanda bu cüzdanlar çevrimdışı çalışmaktadır. Dolayısıyla çevrimiçi risklere maruz kalmayı en aza indirerek gelişmiş güvenlik sağlamaktadır.

Görüldüğü üzere özel anahtar depolama, blok zincir teknolojisinin son derece önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Çünkü bir kullanıcı özel anahtarını kaybederse, aynı özel anahtarı yeniden oluşturmak hesaplama açısından mümkün olmadığından bu anahtar ile ilişkili tüm

dijital varlıklar kaybolmaktadır. Şüphesiz bu durum büyük bir sorunu beraberinde getirecektir.

1.6.9. Mutabakat Mekanizmaları

Genel itibariyle bir blok zincir ağındaki herhangi bir düğüm blok zincire yeni bilgi eklenmesini önerebilmektedir. Bu bilginin eklenmesinin uygun olup olmadığını doğrulamak amacıyla düğümlerin bir tür anlaşmaya varması gereklidir (Guo ve Yu, 2022, s. 2). Tam bu noktada fikir birliğinin sağlanması amacıyla mutabakat mekanizmaları devreye girmektedir (Houben ve Snyers, 2018, s. 18). Dolayısıyla mutabakat mekanizmasını, işlemlerin doğru bir şekilde sıralanmasını sağlayan, önceden tanımlanmış özel (kriptografik) bir doğrulama yöntemi olarak tanımlamak mümkün olmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 6). Blok zincir, doğrulama süreci ve mutabakat mekanizmaları sayesinde güvenilir bir üçüncü tarafa ihtiyaç duymadan ağda oluşabilecek muhtemel hatayı ve dolandırıcılığı da önleyebilmektedir (Pereira vd., 2019, s. 100). Âdem-i merkeziyetçi olan mutabakat süreci, ağ içerisindeki düğümlerin sürekli bir şekilde “blok” adı verilen ve işlemlerden oluşan paketler üretmeye çalışmasını gerektirmektedir. Her on dakikada bir ağın blok üretmesi amaçlanmıştır. Ayrıca her blok; zaman damgası, nonce değeri, bir önceki bloğun hash değerini ve bir önceki blok itibariyle gerçekleşen tüm işlemlerin bir listesinin oluşturulması amacını taşımaktadır (Buterin, 2014, s. 6).

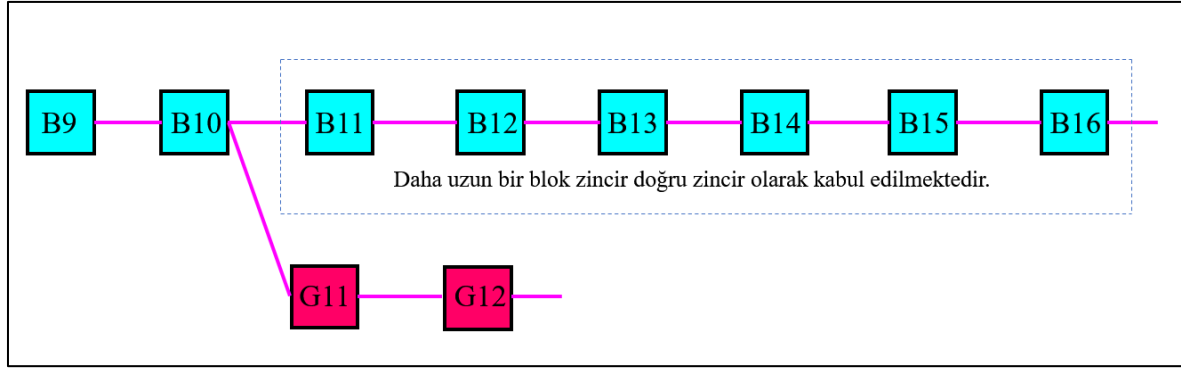
Bir mutabakat mekanizması birçok şekilde oluşturulabilmektedir. Kripto para birimleri alanında en yaygın kullanılan ve en çok bilinen mutabakat mekanizmaları iş kanıtı (Proof of Work) ve hisse kanıtı (Proof of Stake) olarak bilinmektedir. Diğer mutabakat mekanizmaları olarak faaliyet kanıtı (Proof of Activity) ve yetkilendirilmiş hisse kanıtı (Delegated Proof of Stake) olarak karşımıza çıkmaktadır (Guo ve Yu, 2022, s. 2).

1.6.9.1. İş Kanıtı

İş kanıtı Bitcoin ağında kullanılan bir mutabakat stratejisidir (Nakamoto, 2008; Owens ve Hodzic, 2022, s. 815). Yeni bir bloğun zincire eklenmesi, bir başka ifadeyle yeni bir dizi veri girişinin yapılabilmesi için iş kanıtı protokolü gerekli olmaktadır (Natarajan vd., 2017, s. 6). İş kanıtı, kimlik doğrulaması sırasında karmaşık bir hesaplama süreci öngörmektedir. Çünkü zincirdeki ağın her bir düğümü sürekli değişen blok başlığının bir hash değerini

hesaplamaktadır (Zheng vd., 2018, s. 359). Mutabakat, elde edilen değerin belirli bir değere eşit ya da daha küçük olmasını gerektirir. Merkezi olmayan bir ağda, ağdaki tüm katılımcılar hedefe ulaşıncaya kadar nonce sayısı ile hash değerini sürekli olarak hesaplamak zorundadırlar. İlgili değeri bir düğüm elde ettiğinde, diğer tüm düğümler değerin doğruluğunu karşılıklı olarak onaylaması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra, yeni bloktaki işlemler dolandırıcılık olasılığına karşı doğrulanacaktır. Daha sonra hesaplamalar için kullanılan işlemlerin toplamı, blok zincirde yeni bir blokla gösterilen doğrulanmış sonuç olarak onaylanmaktadır. Burada hash değerleri hesaplayan düğümler madenci olarak adlandırılmakta ve iş kanıtı prosedürü de madencilik olarak tanımlanmaktadır (Nakamoto, 2008).

Merkezi olmayan ağda birçok sayıda düğüm, hash değerin hesaplanmasında kullanılan nonce sayısını aynı zamanda bulduğunda mevcut bloklar eş zamanlı olarak üretilmektedir. Dolayısıyla, Şekil 8’de gösterildiği gibi dallar oluşturulabilmektedir. Ancak yarış halindeki iki çatal bloğun aynı anda bir sonraki bloğu oluşturması pek olası değildir. İş kanıtı protokolünde daha sonra uzayabilen bir zincir, gerçek zincir olarak değerlendirilmektedir. Şekilde yer aldığı üzere, aynı anda onaylanan B11 ve G11 blokları tarafından oluşturulan iki çatal düşünelim. Madenciler her iki çatal üzerinde de çalışır ve yeni üretilen bloğu bunlardan birine eklemektedirler. B11 bloğuna yeni bir blok (diyelim ki B12) eklendiği zaman, G11-G12 çatalı üzerinde çalışan madencilerin B12’ye geçmesi gerekmektedir. G11-G12 çatalındaki G12 bloğu artırılmadığı için artık bir blok haline gelmektedir. Genel olarak, blok zincire belirli sayıda yeni blok eklendikten sonra, işlemleri değişikliğe uğratmak için blok zincirini tersine çevirmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Bitcoin blok zincirinde yaklaşık altı blok oluşturulduğunda ilgili blok zincirinin gerçek olduğu kabul edilmektedir (örneğin Şekil 8’deki B11, B12, B13, B14, B15 ve B16 bloklarından oluşan zincir) (Zheng vd., 2018, s. 359).



Şekil 8. Blok Zincir Dallarının Senaryosu (Zheng vd., 2018, s. 359)

1.6.9.2. Hisse Kanıtı

Hisse kanıtı, iş kanıtına kıyasla enerji tasarrufu sağlayan bir alternatif olarak görülmektedir (Owens ve Hodzic, 2022, s. 815; Pereira vd., 2019, s. 100). Hisse kanıtı dağıtık bir sistemde mutabakat sağlama yönteminin yerini almayı amaçlamaktadır (Vasin, 2014). Hisse kanıtında, daha fazla para miktarına sahip kişilerin ağa saldırma ihtimallerinin daha düşük olacağına inanılmasından dolayı kullanıcılardan sahip oldukları para miktarını kanıtlamaları beklenmektedir (Vasin, 2014; Zheng vd., 2018, s. 360). Ancak hesap bakiyesine dayalı olan seçimin oldukça adaletsiz bir seçim olduğu söylenebilir. Çünkü ağdaki en zengin konumdaki tek kişinin baskın olması kaçınılmaz olmaktadır. Dolayısıyla, fırsatçılık riskinin ortaya çıkmasına neden olarak daha yüksek işlem maliyetine yol açabilmektedir (Pereira vd., 2019, s. 100).

Tüm bu ihtimaller göz önüne alındığında, bir sonraki bloğu hangisinin oluşturacağına karar vermek amacıyla hisse boyutunun kombinasyonunu içeren birçok çözüm önerilmektedir. Hisse kanıtı tabanlı bir protokol kullanan ilk kripto para birimi Blackcoin, bir sonraki bloğu oluşturacak kullanıcıya karar vermek amacıyla rastlantısallığı kullanmaktadır (Vasin, 2014). Bu sistem, hissenin büyüklüğü ile birlikte en düşük hash değerini arayan bir formül kullanarak çalışmaktadır (Zheng vd., 2018, s. 360).

Başlangıçta birçok blok zincir iş kanıtı mutabakat mekanizmasını benimsemekle beraber daha sonrasında kademeli bir şekilde hisse kanıtına dönüşmektedir. Bunlara örnek olarak Ethereum verilebilmektedir. Ethereum tarafından kullanılmakta olan Ethash algoritmasından (bu algoritma verimli bir şekilde madencilik yapılabilmesi amacıyla tasarlanmış bir tür iş kanıtı algoritmasıdır (Wood, 2014)), Casper algoritmasına (bir tür hisse kanıtı mutabakat mekanizmasına geçişi sağlayan protokol (Zamfir, 2015)) geçmeyi

planlamaktadır. Bu düşünülen geçişin amacı Casper protokolünün, ağın enerji etkinliğini artırma ve ağın güvenliğini sağlayarak madencilik merkeziliğini en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Zheng vd., 2018, s. 360).

1.6.9.3. Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtı

Yetkilendirilmiş hisse kanıtı mutabakat mekanizmasında, madenciler sahip oldukları hisselerine göre blok oluşturma önceliğine sahip olmaktadır. Hisse kanıtı ve yetkilendirilmiş mutabakat mekanizmaları arasındaki önem arz eden temel farklılık, hisse kanıtının doğrudan demokratik olmasıyken, yetkilendirilmiş hisse kanıtının temsili demokratik özelliği göstermesinden kaynaklanmaktadır. Pay sahipleri, bir bloğu oluşturmak ve doğrulama yapmak amacıyla kendi temsilcilerini seçmektedirler (Guo ve Yu, 2022, s. 2). Bir bloğu doğrulamak için çok daha az sayıda düğüm kullanıldığından, bloğun doğrulanması hızlı bir şekilde gerçekleşerek işlemler hızlı bir biçimde doğrulanabilmektedir. Aynı zamanda, bloğun boyutu ve blok aralıkları gibi ağ parametreleri de ayarlanabilmektedir. Bunlara ek olarak, temsilciler oylama ile kolayca görevden alınabilmelerinden dolayı dürüst olmayan temsilciler hakkında endişelenecekleri bir durum söz konusu olmamaktadır (Zheng vd., 2018, s. 360). Yetkilendirilmiş hisse kanıtı mutabakat mekanizmasını kullanan blok zincir platformu olarak Bitshares örnek olarak verilmektedir (Guo ve Yu, 2022, s. 3). Konunun daha iyi anlaşılması adına Tablo 3'te iş kanıtı, hisse kanıtı ve yetkilendirilmiş hisse kanıtının karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Tablo 3. İş Kanıtı, Hisse Kanıtı ve Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtının Karşılaştırılması

	İş Kanıtı	Hisse Kanıtı	Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtı
Kurulum	Herkese açık izinsiz /Özel blok zincir	Herkese açık izinsiz /Özel blok zincir	Herkese açık/Özel blok zincir
Giriş Maliyeti ve Getirileri	Giriş maliyeti yüksek/Yüksek getiri	Giriş maliyeti düşük/Düşük getiri	Hisse kanıtına göre daha düşük maliyet ve daha düşük getiri
Teşvikler	Kazanan madenci, doğruladığı bloktaki blok ve işlem ücretleriyle birlikte yeni kripto paralar alabilir.	Kazanan, yeni blokla birlikte işlem ücretlerini alır. Ancak bir blok kazananı geçersiz bir blok eklemeye çalışırsa hissesini kaybeder.	İtibar ve gelir kaybı tehdidi, temsilcilerin dürüst davranmaları ve ağı güvende tutmaları için bir teşvik sağlamaktadır.

Enerji Verimliliği	Çok düşük	Yüksek	Yüksek (herhangi bir madenciye ihtiyaç yoktur)
Çoğunluk ya da %51 Saldırı	Tüm saldırgan düğümlerin %25'inden fazla kötü niyetli düğüm sayısı	Saldırı olasılığında %51 azalma	Temsilciler güçlerini birleştirirse %51'lik bir saldırıyı organize etmeleri mümkün olmaktadır
Siber Saldırısına Duyarlılık	Yok	Var	Var
Örnekler	Bitcoin, Ethereum, LTC, Monero, Dash, Zcash, Decred	Ethereum 2.0, Cardano, Polkadot, BlackCoin	EOS, BitShares, Lisk, Steem, Ark, Nano, Cardano

Kaynak: Guo ve Yu, 2022, s. 3

1.6.9.4. Faaliyet Kanıtı

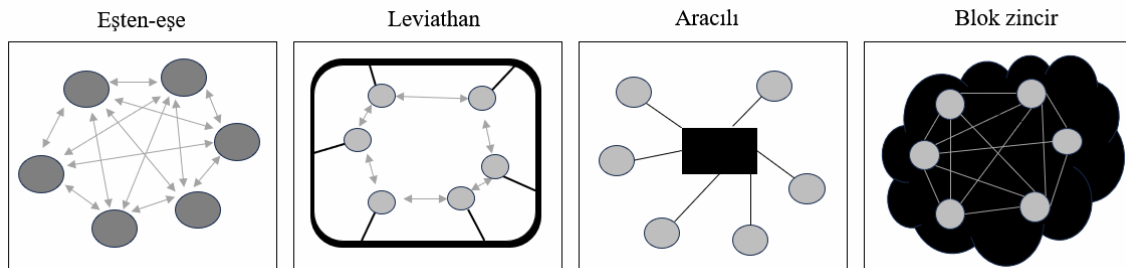
Faaliyet kanıtı, Bitcoin protokolünün bir uzantısı niteliğindedir. İş kanıtı ve hisse kanıtı mutabakat mekanizmalarının faydalarını birleştirmek amacıyla faaliyet kanıtı önerilmiştir. Bu kanıt mekanizmasında madencilik yapılan bir bloğun geçerli olabilmesi amacıyla N sayıda madenci tarafından imzalanması gerekmektedir. Bu şekilde, tüm Coin'lerin %50'sine sahip olan bir ağ kullanıcısı varsa, yeni blok oluşumunu tek başına kontrol edememektedir (Bentov vd., 2014, s. 5).

1.7. Blok Zincirin Çalışma Prensipleri

Blok zincir çalışma prensibiyle güven ihtiyacını ortadan kaldırmaktan ziyade güveni merkezi olmayan bir temele dayandırarak yeni bir biçim haline getirmektedir. Bu nedenle ağdaki katılımcılar merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan birbirlerine güven duymaktadırlar. Bu durum herkese katılım imkânı veren açık kaynağa sahip bir yazılım olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla blok zincir ağında, bu ağın kendisi dışında hiçbir şeyin güvenilir olmadığı varsayılmaktadır. Bu belirleyici özellik blok zincirin; yasalar, yönetmelikler ve yönetim ile etkileşimini tanımlamaktadır. Herhangi bir işlem sürecinde güven sağlayan üç unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar işlemin muhatabı, işlemin aracı ve anlaşmazlıkların çözümüne yönelik oluşturulan mekanizma olarak karşımıza çıkmaktadır. Blok zincir teknolojisi, mevcut üç durumu yazılım koduyla değiştirmeye çalışmaktadır. Bu

teknolojide insanlar rastlantısal dijital anahtarlarla temsil edilmekte ve bu da geleneksel olarak güven tesis etmek için kullanılan bağlamsal faktörleri ortadan kaldırmaktadır (Werbach, 2021, s. 39-41).

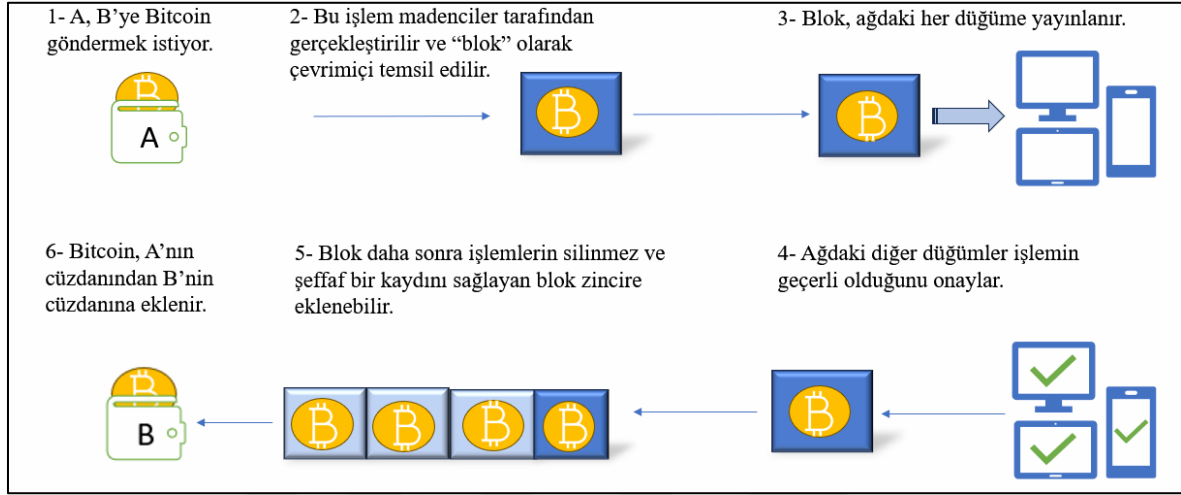
Werbach (2021), güvenin de mimarisi olacağından bahsetmektedir. Bu mimariler, güvenin şeklini oluşturmada etkin role sahip olabilmektedirler. Zamanla eşten eşe, Leviathan ve aracılı olarak üç güven mimarisi ortaya çıkmıştır. Eşten eşe güven mimarisi, anlık etkileşimlerden daha çok karşılıklı taahhütler üzerine dayanmakta olan en eski güven mekanizması olarak bilinmektedir. Thomas Hobbes'un yazmış olduğu "Leviathan" adlı kitaptan adını alan diğer güven mimarisi ise sistemin arka planında merkezi olan güçlü bir aracı tarafından, diğer kullanıcıların birbirlerini yanıltmamaları için durmadan çalışan güven mimarisi olarak tanımlanmaktadır. Son olarak aracılı güven mimarisi, kullanıcıların denetimi ve yetkiyi aracı kuruluşlara devretmelerini kapsamaktadır. Bu aracılı güven mimarisi kapsamına finansal hizmetler örnek olarak verilebilmektedir (Lehman, 2016). Aracılı güven mimarisine dayanan platformlara örnek olarak Google, Amazon ve eBay gösterilebilmektedir. Blok zincir bu güven mimarilerinin aksine ağıın bütününe güven duyulmasını sağlamaktadır. Şekil 9'da bu güven inşasını görmemiz mümkündür (Werbach, 2021, s. 42).



Şekil 9. Blok Zincirin Alternatifleriyle Karşılaştırıldığında "Güvencesiz" Güven Mimarisi ile Herhangi Bir Aktöre Güvenmeden Tüm Ağda Güven Oluşturması (Werbach, 2021, s. 42)

LinkedIn'in kurucusu olan Reid (2014) blok zincir teknolojisini "güvencesiz güven" olarak tanımlamaktadır. Hoffman; blok zincir teknolojisinin daha hızlı, ekonomik ve küresel çapta işlem yapılmasına imkân tanınmasıyla birlikte kendi verilerimizin de güvenli dağıtılmasına olanak tanıyacağına değinmiştir. Ancak blok zincirde güven soyut olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca blok zincir teknolojisine dayanan bir varlıkta işlemler dağıtık defterdeki

dijital kayıtlara dayanmaktadır. Dolayısıyla blok zincirin çalışma prensibinin anlaşılması büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda Şekil 10'da blok zincirin nasıl çalıştığına yer verilmiştir.



Şekil 10. Blok Zincirin Çalışma Prensibi (Zhang vd., 2019, s. 4)

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi, blok zincir işlev olarak güvenli bir şekilde tutulan veri tabanı işlevi görmektedir (Kaya ve Akıncı, 2022, s. 212). Örneğin bir Bitcoin ağında, A isimli müşteri B isimli başka bir müşteriye bir miktar Bitcoin göndermek isterse, A isimli müşteri tarafından bir Bitcoin işlemi oluşturulmaktadır. Madencilik sürecini başlatmak amacıyla, işlem ağdaki her bir düğüme gönderilmektedir. Bu düğümlerden madenciler işlemleri bir blokta toplamakta, bloktaki işlemleri doğrulamakta ve ağdan onay almak için bir mutabakat protokolü kullanarak bloğu ve doğrulamasını yayınlamaktadırlar. Diğer düğümlerin blokta yer alan tüm işlemlerin doğru olduğuna onay vermesi ile birlikte blok, zincire eklenebilmektedir. Bloğun zincire eklenmesiyle birlikte Bitcoin transferi gerçekleşerek işlem yasal hale gelmektedir (Zhang vd., 2019, s. 4).

1.8. Blok Zincir Teknolojisinin Özellikleri

Blok zincir sistemini mevcut defter ve veri tabanı teknolojilerinden ayıran temel özellikler Şekil 11'de yer almaktadır. Blok zincir, geleneksel iş yapma yöntemlerinden tamamen uzaklaşmayı temsil etmektedir. Blok zincir; muhasebeciler, finans alanında çalışanlar ve profesyoneller için kolaylıklar sunan ve önemli sonuçlar teşkil edecek şekilde; faturalama,

ödeme, sözleşme ve dokümantasyon süreçlerini dönüştürmeye hazır son teknolojilerden biri olmaktadır. Blok zincir kayıtları, gerçek zamanlı olarak ağda yer alan katılımcılara dijital olarak dağıtılmaktadır. Böylece tüm kaydın bir kopyası eşler arası bir ağın kullanıcıları tarafından kullanılabilir. Dolayısıyla dağıtılmış yapı sayesinde merkezi otoriteler ve aracı kurumlar gibi güvenilir üçüncü bir tarafın sağlayamayacağı bir güvenilirlik düzeyi sağlanmaktadır. Dahası blok zincirde, geçmiş kayıtların değiştirilmesini zorlaştıran mekanizmalar mevcut bulunmaktadır. Her ne kadar yeni veriler yazılabilse de bir blok zincirde daha önce var olan veriler için mevcut protokol kuralları dışında veriler değiştirilememektedir. Bu değişikliğin gerçekleşebilmesi için protokolde yer alan kullanıcıların belli bir yüzdesinin değişiklik olması konusunda uzlaşma sağlanması ile birlikte bu tür değişikliklere izin verilebilmektedir (Baron, 2017; Dai ve Vasarhelyi, 2017, s. 5).



Şekil 11. Blok Zincir Teknolojisinin Özellikleri (Mazur, 2022, s. 127; Werbach, 2021, s. 85)’ten faydalanılarak tarafımızca oluşturulmuştur.

Blok zincir fikir birliğine varmak amacıyla bir ağdaki tüm kullanıcıları takip etmektedir. Kullanıcılar eklenen her bir bloğun kimliğini doğrulamaktadırlar. Böylelikle, yeni bloklar ancak kullanıcıların çoğunluğu uzlaşma sağladığında ağ tarafından kabul edilmektedir. Buradaki amaç, aynı işlemin birden fazla kez gerçekleşmesini engellemektir. Anonim olan ancak takip edilebilen kimlikleri doğrulamak amacıyla kriptografi ve dijital imzalar kullanılmaktadır. Ayrıca birden fazla karşı taraf, blok zincir teknolojisiyle doğrudan

etkileşime girebilir. Bu teknoloji sayesinde; bürokrasi, emek yoğun süreç ve tekrarlayan işlem maliyetleri azaltılabilmektedir (Mazur, 2022, s. 127).

Neticede blok zincir, zaman damgası mekanizmasına sahip bir teknolojidir (Baron, 2017; Kokina vd., 2017, s. 93; Nakamoto, 2008, s. 3). Her bir blok kendisinden önce gelen bloğun verilerini, dijital imzasını ve zamanını da içermektedir. Dolayısıyla, blok zincir üzerindeki işlemlerin izlenmesini ve doğrulanmasını mümkün kılmaktadır. Blok zincir, blokların içerisine gömülü talimatlar ile işlemlerin veya eylemlerin belirli şartların yerine getirilmesi ile gerçekleştirilmesine izin verecek şekilde programlanabilmektedir (Atabaş, 2018, s. 47).



İKİNCİ BÖLÜM

BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI, AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI İLE ÜLKE ÖRNEKLERİ

Günümüzde çoğu insan, bir işlemi gerçekleştirmek için banka gibi güvenilir bir aracı kuruma ihtiyaç duymaktadır. Ancak kriptografi kullanarak işlemleri güvence altına alan blok zincir teknolojisi ile birlikte üçüncü taraflara duyulan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Bu teknoloji, para gibi değer içeren işlemlerde kullanılabilir. Diğer bir ifadeyle potansiyel kullanım alanları Bitcoin'in ötesine uzanmaktadır. Ayrıca her işlemin kaydedilerek herkese açık bir blok zincirde paylaşılması sayesinde dolandırıcılığın önlenmesine katkı sağlayabilir. Söz konusu teknolojiyi detaylı olarak değerlendirmek amacıyla bu bölümde, blok zincir teknolojisinin kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları ile ülke örneklerine yer verilmiştir.

2.1. Blok Zincir Teknolojisinin Kullanım Alanları

Blok zincir teknolojisi, verilerin depolanması ve yazılım uygulamalarının yönetimi için yeni bir altyapı oluşturarak merkezi araçlara olan ihtiyacı azaltmaktadır. Veri tabanları genellikle perde arkasında görünmez bir şekilde yer alsa da web sitesi, uygulama veya diğer çevrimiçi hizmetler için bir omurga görevi görmektedir. Bu zamana kadar veri tabanları çoğunlukla büyük internet şirketleri ya da Amazon, Microsoft ve Google gibi bulut bilişim operatörleri merkezi araçları tarafından muhafaza edilmiştir. Blok zincirler bu dinamiği değiştirmekte ve merkezi kontrole daha az bağımlı olan yeni nesil araçsız eşler arası uygulamaları desteklemektedirler (De Filippi ve Wrigh, 2018, s. 2).

Dünyada yeni bilgi teknolojileri geliştirme ve uygulama süreci hızlanırken blok zincirin gelişimi de politika, teknoloji ve uygulandığı ortam açısından giderek hız kazanmaktadır. Ülkeler, geleceğin rekabet ortamında teknolojik avantaj elde etmek için benzeri görülmemiş bir çaba sarf etmektedir. Ekonomik ve endüstriyel yeniden yapılanmayı güçlü bir şekilde teşvik eden blok zincir teknolojisi, gelişmekte olan ülkelerin bir sonraki aşamaya geçmeleri

ve uluslararası iş bölümünde sarsılmaz bir konuma gelmeleri için kritik bir dönüm noktası olabilmektedir (Dong vd., 2023, s. 26).

Blok zincir teknolojisi, farklı türdeki faaliyetleri açısından blok zincir 1.0, blok zincir 2.0 ve blok zincir 3.0 olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Blok zincir 1.0 para transferi ve dijital ödeme sistemleri gibi nakitle ilgili uygulamalarda kripto para birimlerinin kullanılmasına hizmet etmektedir. Blok zincir 2.0 ise hisse senetleri, tahviller, vadeli işlemler, krediler, ipotekler, tapular, akıllı mülkler ve sözleşmeler gibi kapsamlı bir biçimde blok zincir kullanan sözleşmelerdir. Blok zincir 3.0 özellikle hükümet, sağlık, bilim, okuryazarlık, kültür ve sanat alanları başta olmak üzere birçok uygulamada karşımıza çıkmaktadır (Swan, 2015, s. 9).

Dijital dönüşümün temel yapı taşlarından biri olan blok zincir teknolojisi, verilerin merkezi olmayan bir yapıda tutulmasını ve herkesin erişimine açık olmasını sağlamakla beraber bilgi ve belgelerin de güvenli ve doğrulanabilir bir şekilde arşivlenmesine imkân tanımaktadır. Aynı zamanda bu teknoloji, finansal hizmetler endüstrisinin altyapısını daha az maliyetli hale getirebilecek olmasının yanı sıra potansiyel kullanım alanları ile finansal sistemin ötesine geçebilmektedir (Shipman, 2016). Öncelikle finans sektöründe uygulanan blok zincir teknolojisinin; sağlık, gıda, gümrük, sigorta, taşımacılık, dış ticaret ve muhasebe alanlarında da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Blok zincir teknolojisi avantajları nedeniyle birçok sektörde inovasyon sağlayan bir teknoloji olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Gezer, 2023, s. 207).

Blok zinciri, Bitcoin gibi kripto para birimlerinin arkasındaki teknoloji olarak ifade etmek yalnızca bankacılık sektörüyle ilgili olduğu yanılgısına neden olabilmektedir. Öyle ki tüm Bitcoin işlemlerinin halka açık defteri konumundaki blok zincir adı verilen bu ana teknolojik yeniliğin Bitcoin'in kendisinden daha önemli olması beklenmektedir. Dolayısıyla başlangıçta blok zincir uygulamaları yaygın olarak kripto para birimi işlemlerinde kullanılsa da günümüzde daha yaygın uygulama alanlarına sahiptir (Kırbaş, 2018, s. 80). Blok zincir teknolojisinin potansiyel uygulama bulduğu alanlar; akıllı sözleşmeler, nesnelerin interneti, dijital kimlik, oy kullanımı, sağlık uygulamaları, tedarik zinciri, uluslararası ticaret, bankacılık uygulamaları, sigortacılık hizmetleri ve muhasebe-denetim olarak ön plana çıkmaktadır (Deloitte, 2016, s. 3; Kimani vd., 2020, s. 3; Sharma vd., 2021, s. 1201; Shipman 2016).

Güvene gereksinim duyulmayan bir sistem geliştirebilme potansiyeli sunan blok zincir teknolojisi, geleceğin veri saklama alanlarını şekillendirerek birçok alanda daha özgür

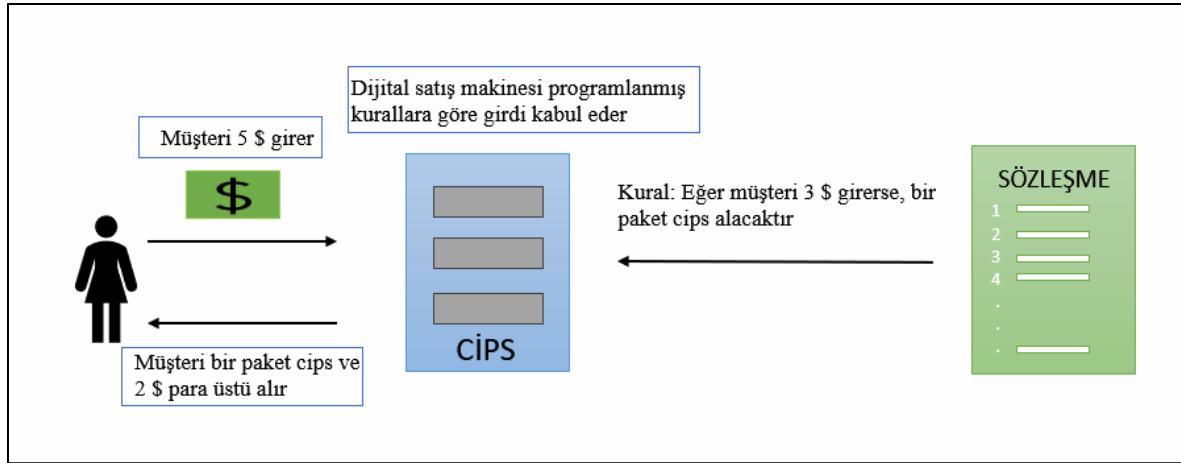
hareket etme şansı verebilecek potansiyele sahiptir (Atabaş, 2018, s. 66). Blok zincir teknolojisi, işletmeler ve bilgi işlem sistemleri üzerindeki olası etkileri hakkında yeni bir araştırma alanı başlatmıştır (Peters ve Panayi, 2015, s. 1). Dünya Ekonomik Forumu'nun 2015 yılında yayımlamış olduğu rapora göre dünyadaki Gayri Sâfi Yurt içi Hasıla'nın (GSYH) %10'unun blok zincir sistemlerinde muhafaza edilebileceğini öngörmektedir (World Economic Forum, 2015, s. 24). Örneğin 2016 yılında Londra'nın belediye başkan adaylarından biri, şehrin mali ve bütçe kayıtlarının tutulması amacıyla mevcut muhasebe defterini modernize etmek için blok zincir teknolojisinin uygulanmasını önermiştir (Young, 2015; World Economic Forum, 2015, s. 26).

2.1.1. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmeler, kullanıcılarının sözleşme maddelerini kodlanmış bir forma dönüştürmelerine yardımcı olan ve dış kaynaklı riskleri en aza indiren bilgisayarlı bir işlem protokolüdür (Sharma vd., 2021, s. 1211). Diğer bir ifadeyle akıllı sözleşmeler, müdahaleye karşı korumalı ve çoğunlukla kendi kendine uygulanabilen otomatik yürütme yoluyla merkezi olmayan mutabakata bağlı şartlara izin veren dijital sözleşmelerdir. Akıllı sözleşmeler için evrensel olarak kabul edilmiş bir tanıma henüz ulaşılammış olsa da değer transferini otomatikleştirmesi ve düşük maliyetle transfer yapılmasını kolaylaştırması temel işlevlerini açıklamaktadır (Cong ve He, 2019, s. 1761). Akıllı sözleşmeler kısaca, insan eylemlerini taklit eden tanımlanmış koşullara dayalı olarak blok zincirdeki görevleri otomatik olarak yürüten yazılım araçlarıdır (Nwana ve Ndumu, 1999, s. 2; Özdoğan ve Karğın, 2018, s. 166; Tevetoğlu, 2021, s. 196).

Akıllı sözleşmeler ilk olarak Szabo tarafından sözleşme sürecinin uygulama, doğrulama ve performans aşamaları da dâhil olmak üzere *“bir sözleşmenin şartlarını yürüten bilgisayarlı bir işlem protokolü”* olarak tanıtılmıştır (Szabo, 1997). Szabo akıllı sözleşmeleri, gerçek dünyadaki işleyişlerini tanımlamak için bir dijital satış makinesi örneğini kullanarak açıklamaktadır. Bu örneğe göre dijital satış makinesi, bir müşteri ile satıcı arasındaki akıllı sözleşmedir ve önceden tanımlanmış kurallara dayalı bir dizi girdiyi kabul etmek ve bu kurallar karşılandığında çıktıları dağıtmak amacıyla tasarlanmıştır. Müşteri bu dijital satış makinesine 3.00 \$'lık bir paket cips almak için 5.00 \$ girdiğinde akıllı sözleşme aracılığıyla ürünü ve ilgili fiyatı arayacaktır. Ürün bulunursa ve fiyatı müşteri tarafından sağlanan parasal tutara eşit veya daha düşükse, akıllı sözleşme ürünü müşteriye teslim edecektir.

Müşterinin verdiği para seçilen ürünün fiyatını aşıyorsa, ürünün fiyatı ile kullanıcı tarafından sağlanan tutar arasındaki farkı iade ederek ürünü müşteriye verecektir. Sonuç olarak, dijital satış makinesi müşteriye bir paket cips ve 2.00 \$ para üstü vererek işlem tamamlanmaktadır (Rozario ve Vasarhelyi, 2018, s. 5). Konuya ilişkin örnek Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Akıllı Sözleşmenin Dijital Satış Makinesi Örneği (Rozario ve Vasarhelyi, 2018, s. 6)

Akıllı sözleşmeler geleneksel sözleşmelerden farklı olarak, insan diline dayalı bir sözleşmeden çok farklı bir program dilinde daha önceden yazılmış koşulları içermektedir. Önceden tanımlanmış şekilde hareket eden akıllı bir sözleşme, “Eğer bu olursa, o zaman şunu yapar” şeklinde otomatik hale getirmektedir. Dolayısıyla bu sayede anlaşma koşullarının yerine getirilmesini sağlamak amacıyla daha objektif ve veriler doğrultusunda hareket eden bir aracı konumundadır (Atabaş, 2018, s. 69). Blok zincir desteği ile akıllı sözleşme günümüzde güvenli ve kullanışlı bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bir akıllı sözleşme diğer akıllı sözleşmelerle de işlem yapabilmektedir. Bunların yanı sıra Solidity, akıllı sözleşmeler oluşturmak için özel olarak tasarlanmış bir programlama dilidir ve Ethereum’da kullanılmaktadır. Ancak Go gibi diller de Hyperledger’da olduğu gibi akıllı sözleşmeler için kullanılmaktadır (Sanka vd., 2021, s. 187).

Blok zincir teknolojisi ile denetleme yükümlülükleri etkin düğümlere dağıtıldığı için akıllı sözleşmelerin yürütülmesi mümkün hale gelmektedir (Buterin, 2014; Dai ve Vasarhelyi, 2017, s. 16). Blok zincir teknolojisi akıllı sözleşmeler yoluyla sözleşme alanını genişletebilme potansiyeline sahiptir. Blok zincir üzerinde gerçekleştirilen akıllı

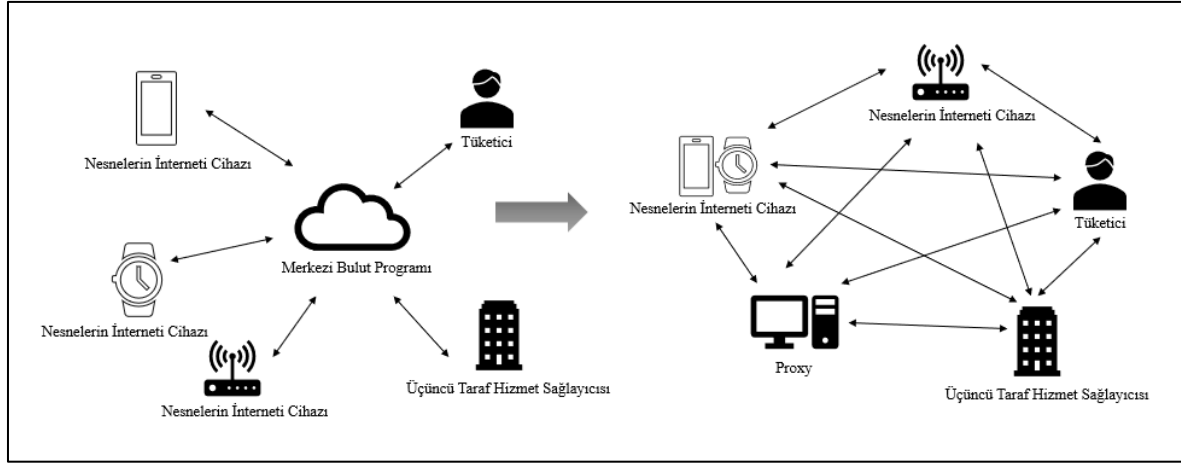
sözleşmelerin sağlayacağı birçok fayda bulunmaktadır. Bunlar (Rozario ve Vasarhelyi, 2018, s. 6):

- Merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmaması,
- Bilgilerin şifrelenmiş olması ve blok zincirdeki taraflarca görülebilmesi nedeniyle güvencesiz bir ortamda güven sağlanması,
- Dolandırıcılık veya insan kaynaklı risklerin azaltılması,
- Akıllı sözleşmeler gerçekleştirilen işlemlerin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak blok zincir teknolojisi; müdahale edilemeyen, takibi yapılabilen ve hazır talimatları otomatik olarak uygulayan akıllı sözleşmeleri bir araya getirerek büyük verilerin güvenli dolaşımında ve sektörlerin gelişiminde olası zorluklara çözüm sağlamaktadır (Yue vd., 2017, s. 117).

2.1.2. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti; nesneler ve bireyler ile ilgili olarak şifrelenebilen, değiştirilebilen ve yapay zekâ ile kullanılabilen çeşitli verileri işleyen bir yapıya sahiptir (Avcı, 2024, s. 203). Diğer bir ifadeyle nesnelerin interneti, heterojen akıllı cihazlardan oluşan bir arayüzdür (Atabaş, 2018, s. 85; Sharma vd., 2021, s. 1212). Nesnelerin internetinin farklı uygulama alanları merkezi bir mimariye dayanmaktadır. Bu nedenle tek bir noktanın başarısızlığı, güven yönetimi ve gizlilik sorunları gibi problemleri ortaya çıkarmaktadır. Şekil 13'te gösterildiği üzere nesnelerin internetinin merkezi mimarisi, güvenlik ve hata sorunlarını çözmek için dağıtılmış blok zincir tabanlı mimariye dönüştürülmektedir. Bu entegrasyon, cihazları güvenilir ve müdahaleye karşı korunaklı hale getirmektedir (Sharma vd., 2021, s. 1212).



Şekil 13. Merkezi ve Blok Zincir Tabanlı Nesnelerin İnterneti Mimarisi (Sharma vd., 2021, s. 1212)

Nesnelerin interneti verilerin toplanması ve işlenmesi amacıyla tam kontrole sahip olan üçüncü taraf konumundaki merkezi bir otoriteyi kullanmaktayken blok zincir teknolojisi merkezi olmayan, özerk ve dağıtık bir ortam sunmaktadır. Bu da daha fazla verimlilik sağlamakla beraber tek hata noktasını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca blok zincir, değiştirilemez özellikleri nedeniyle daha iyi güvenlik ve veri bütünlüğü sunmaktadır. Nesnelerin interneti ve blok zincir arasında çok sayıda benzerlik ve farklılık vardır (Abbassi ve Benlahmer, 2021, s. 342; Dong vd., 2023, s. 13). Bu doğrultuda Tablo 4 nesnelerin interneti ve blok zincir arasında bir karşılaştırma sunmaktadır.

Tablo 4. Nesnelerin İnterneti ve Blok Zincir Teknolojisinin Karşılaştırılması

Maddeler	Nesnelerin İnterneti	Blok Zincir Teknolojisi
Gizlilik	Gizlilik eksikliği vardır.	Katılım gösteren düğümlerin gizliliğini sağlar.
Veri transfer kapasitesi	Veri transfer kapasitesi sınırlıdır.	Veri transfer kapasitesi yüksektir.
Sistem yapısı	Merkezi	Âdem-i Merkeziyetçi
Ölçeklenebilirlik	Çok sayıda cihaz barındırdığı görülmektedir.	Büyük bir ağda ölçeklendirme zayıftır.
Kaynaklar	Kısıtlı kaynak	Kaynak tüketimi
Gecikme	Gecikme süresi düşüktür.	Blok madenciliği zaman alıcıdır.
Güvenlik	Güvenlik bir sorundur.	Daha iyi bir güvenliğe sahiptir.

Kaynak: Abbassi ve Benlahmer, 2021, s. 342

Diğer bir açıdan blok zincir teknolojisi ve nesnelerin interneti entegrasyonunun öngörülemez avantajlarına rağmen daha fazla araştırma yapılmasını gerektiren kayda değer sorunları da bulunmaktadır. Bu sorunlar şu şekilde sıralanabilir (Sharma vd., 2021, s. 1228):

- *Saklama alanında kısıtlama:* Nesnelerin interneti ortamında, sensörler ve cihazlar için gereken depolama alanı blok zincir defterinden daha azdır. Nesnelerin internetinde güçlü birleşik sunucu depolaması etkinleştirilirken, her bir defterin blok zincirindeki her bir düğümde depolanması gerekir.
- *İşgücü yetersizliği:* Blok zincir teknolojisi platformu için eğitimli işgücü düşük düzeydedir. Dolayısıyla bu durumda blok zincir teknolojisi ile entegre edilmiş nesnelerin interneti hakkında bilgi sahibi olan daha az sayıda vasıflı işgücünün bulunduğu anlamına gelmektedir.
- *İşlemsel Kapasitelerin Değişkenliği:* Nesnelerin interneti, büyük bir ağ üzerinden dağıtılarak birbirlerine bağlanır. Blok zincir teknolojisi nesnelerin interneti ile entegre olduğunda bu yapı daha karmaşık hale gelmektedir. Çünkü blok zincir teknolojisi tabanlı nesnelerin interneti sistemine bağlı her şeyin, şifrelemeyi çalıştırabilmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlarda, şifrelemeyi çalıştırmak için kullanılan algoritmaların hepsi benzer hesaplama yeteneklerine sahip olmayabilir, bu da varyasyon sorunlarına neden olabilecektir.
- *Etkileşim ve Standardizasyon:* Entegrasyon sonucunda; erişim kontrolü, kimlik doğrulama ve yetkilendirmeyi korumak için iş birliğine dayalı uygulamalar ve uluslararası standartlar gerekmektedir.

Bu yüzden blok zincir teknolojisi ve nesnelerin interneti entegrasyonunun, birbirlerini tamamlayan roller önererek anlam kazanması gerekmektedir (Abbassi ve Benlahmer, 2021, s. 342). Prada-Delgado vd., (2019) işlemlerin doğrulanması amacıyla sıfır bilgi ispatı üreten ve doğrulama işlemi için imza konseptini kullanan nesnelerin interneti cihazları için blok zincir tabanlı bir kimlik doğrulama yöntemi önermişlerdir.

2.1.3. Dijital Kimlik

Günümüzde dijital kimlik; bireyler, işletmeler ve kamu idareleri için dönüşümsel değişimi teşvik edecek bir fırsat olarak görülmektedir. Dünya çapında tüketicilerin dijital hizmetlere erişirken verileri üzerinde seçim yapma ve kontrol sahibi olma beklentileri sürekli artmaktadır. Dolayısıyla bireyi dijital kimliğin merkezine yerleştiren ve kimliklerini

çevrimiçi ortamda ne zaman, nasıl ve ne şekilde ortaya koymak istediklerinin kontrolünü onlara veren kullanıcı merkezli bir yaklaşım son derece önemlidir. Aynı zamanda dijital kimlik hem birincil kimlik belirleme kaynağı hem de kimlik doğrulama ve diğer güvenlik hizmetleri yoluyla dijital katılımı teşvik etme fırsatı olarak düşük gelirli gelişmekte olan ülkelerin de önceliği haline gelmektedir (Lenco, 2015).

Kişilerin kimliklerinin pasaport, ehliyet ve ulusal kimlik kartları gibi yöntemlerle doğrulanması mümkündür. Ancak bunların hepsi değiştirilebilen, çalınabilen veya tahrif edilebilen eksik yöntemlerdir (Shrier vd., 2016, s. 5). Dijital kimlik çözümleri için blok zincir teknolojisinin benimsenmesi, bireylerin yetkilendirilmesi ve daha fazla birbirine bağlı dijital bir toplum oluşturulmasına yardımcı olunması açısından büyük önem arz etmektedir (Rivera vd., 2017). Diğer önemli nedenleri, işlemlerden sorumlu üçüncü taraf bir kuruluşa ihtiyaç duymadan güvenlik, veri bütünlüğü ve gizlilik sağlayan birincil özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Yli-Huumo vd., 2016, s. 2). Birkaç girişim, blok zincir teknolojisini dijital kimlik alanında kullanmak istemektedir. Bunlardan birine örnek olarak tüketici gizliliğini koruyan dijital bir kimlik uygulaması olan ShoCard verilebilir. ShoCard, bir ehliyet göstermek kadar kolay anlaşılır, kullanılır olmayı ve aynı zamanda bir bankanın güvenilebileceği kadar güvenli olmayı hedeflemektedir. Buradaki kilit nokta, ShoCard Kimlik Platformu'nun halka açık bir blok zincir veri katmanı üzerine inşa edilmesi, dolayısıyla tehlikeye atılabilecek veri veya anahtarları depolamıyor olmasıdır. Buna göre ShoCard tüm kimlik verilerini şifrelemekte, karma hale getirmekte ve blok zincirde saklamaktadır. Aynı zamanda bu veriler üzerinde oynama yapılamadığı gibi herhangi bir değişikliğe de izin verilmemektedir (Shrier vd., 2016, s. 5).

2.1.4. Oy Kullanımı

Geleneksel seçimlerde hala merkezi bir sistem kullanılmakta ve bu sistemi yöneten tek bir kuruluş bulunmaktadır. Geleneksel seçim sistemlerinde ortaya çıkabilecek sorunlardan biri, sistem üzerinde tam kontrole sahip bir kuruluş tarafından veri tabanına müdahale edilme ihtimalinin olmasıdır (Hanifatunnisa ve Rahardjo, 2017, s. 1). Dolayısıyla blok zincirin, kişilerin kimlik bilgilerini muhafaza etmesi, bu teknolojiyi oy kullanma sistemine entegre etmesine imkân tanımaktadır. Blok zincir teknolojisi, seçmenlerin oylamaya katılabilmesini ve hiçbir seçmenin oylar üzerinde değişiklik yapamamasını sağlamaktadır. Aynı zamanda insanların akıllı telefonları aracılığıyla sadece birkaç dokunuşla kolayca oy

kullanabilmelerini sağlayarak oy vermeyi daha erişilebilir hale getirmektedir. Oy kullanımında blok zincirinin kullanılması, seçimlerin yürütülme maliyetlerini de önemli ölçüde azaltabilecektir (Hanifatunnisa ve Rahardjo, 2017; Shahzad ve Crowcroft, 2019, s. 24477; Yavuz vd., 2018).

Elektronik oylama (e-oylama) zaman içerisinde kâğıt tabanlı oylamanın yerine geçerek mükerrerliklerin ve çelişkilerin azaltılması amacıyla ortaya çıkmıştır. E-oylamanın gelecekte ön plana çıkması beklenmektedir. Bu bağlamda e-oylama süreci, bu çözümün temel işlevi olarak gizlilik, güvenlik, anonimlik ve doğrulanabilirlik gibi özellikler gerektirdiğinden, bu zorlukların üstesinden gelmek için temel teknolojinin seçiminin tutarlı olması önemlidir. Dolayısıyla blok zincir, oy kullanma sürecinde sorunları tespit edebilen, uygun karma algoritmasının seçimini yapabilen, kimlik doğrulaması ile e-oylama sürecini dinamiklere uygun hale getirebilen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Shahzad ve Crowcroft, 2019, s. 24486).

2.1.5. Sağlık Uygulamaları

Sağlık hizmeti sektörü, büyük çaplı verilerin toplandığı bilgi yoğun bir tıbbi ortam olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla çok sayıda veri düzenli olarak üretilmekte ve dağıtılmaktadır (Sharma vd., 2021, s. 1216). Mevcut sağlık yönetim sistemi; veri tutarsızlığı, mükerrer kayıtlar ve hastaların kendi kayıtlarını doğru bir şekilde yönetememesi gibi çeşitli sorunlara sahiptir. Blok zincir teknolojisi, doğru kullanıldığında bu sağlık hizmeti zorluklarını çözebilmektedir. Bu teknoloji, sağlık yönetiminde verileri paylaşmak ve güvence altına almak amacıyla kullanılmaktadır. Kayıtlar; paylaşım, erişilebilirlik, güvenlik, maliyette azalma ve izlenebilirlik sağlamak için blok zincire yüklenmektedir (Sanka vd., 2021, s. 187).

Blok zincir teknolojisi sağlık sektöründe çok sayıda uygulamaya imkân tanımakta ve bu da onu sektörde radikal bir dönüşüm yaratma konusunda önemli bir teknoloji haline getirmektedir. Blok zincirin sağlık alanındaki başlıca uygulamalarından biri elektronik tıbbi kayıt yönetimidir. Blok zincir teknolojisinin âdem-i merkeziyetçi ve güvenli yapısından yararlanan elektronik tıbbi kayıt yönetimi; sağlık hizmeti sağlayıcıları arasında güvenli ve verimli bir şekilde paylaşabilmekte, hasta sonuçlarını iyileştirebilmekte ve maliyetleri düşürebilmektedir (Gordon ve Catalini, 2018, s. 227). Blok zincir teknolojisinin sağlık

hizmetleri sektöründe kullanılmasının faydalarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (Gupta vd., 2022, s. 9817):

- Değişmezlik ve şeffaflık özellikleri sayesinde hastalar, verilerin değiştirilmesinden endişe etmeden tıbbi bilgilerini herkese gönderebilmektedir. Bu bilgiler herhangi bir değişiklik anında izlenebilmekte ve düzeltilebilmektedir. Hasta bilgileri bir tıbbi kayıt oluşturulduktan ve blok zincire gönderildikten sonra güvende olmaktadır.
- Özel blok zincir platformu kullanılarak, verilerin sağlık kurumları tarafından paylaşımı ve kullanımı üzerinde veri sahibine kontrol sağlayan bir erişim kontrol mekanizması geliştirilebilir. Tıbbi verilere ihtiyaç duyan herhangi bir kurum, gerekli izinleri almak için blok zincir teknolojisinden faydalanabilir.
- Sahte ve çalıntı ilaçlar, ilaç endüstrisinin en büyük iki sorunudur. Bu bağlamda, blok zincir bu tür sorunların azaltılması konusunda önemli bir rol oynayabilir. Blok zincir kullanılarak ilaçların kaynağından varış noktasına kadar şeffaf bir şekilde takip edilmesi, sahte ilaç tehlikesine karşı mücadeleye yardımcı olabilmektedir.
- Blok zincir teknolojisi aynı zamanda tıbbi araştırma alanında da devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Örneğin birçok ülke Covid-19 aşısı geliştirmiştir. Ancak klinik deney verilerinin paylaşılması ve kabul edilmesiyle ilgili bazı sorunların da ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Blok zincir yardımıyla tüm veriler için tek bir veri tabanı oluşturulabilir ve blok zincirin değişmezlik özelliği depolanan verilere şeffaflık ve güvenilirlik kazandırılabilir.

Birçok araştırmada, blok zincir içerisinde bulunan bulut bilgi karmaşasını muhafaza ederek sağlık belgelerinin gizlilik ve güvenlik sorunlarını çözmek için blok zincir teknolojisi kullanılmıştır. Bu araştırmalardan birine örnek olarak Zhao vd., (2018) sağlıklı blok zincir ve vücut sensör ağlarını birbirine entegre eden bir çözüm önerisinde bulunmuştur. Bu doğrultuda sağlık blok zincirinin anahtarları için basit bir yedekleme ve verimli bir kurtarma şeması tasarlamak amacıyla bir vücut sensörü ağı geliştirmişlerdir. Bir diğer araştırmada ise Omar vd., (2019) hasta merkezli blok zincir tabanlı bir sağlık hizmeti veri yönetimi sunmaktadırlar. Bu yöntemde hastanın verilerini şifrelemek ve gizliliği sağlamak için kriptografik fonksiyonlardan yararlanılmıştır. Nguyen vd., (2019a) araştırmalarında blok zincir ve merkezi olmayan platformlar arası dosya sistemini mobil bir bulut platformunda birleştiren yeni bir elektronik sağlık kayıtları paylaşım altyapısı önermektedirler. Özellikle, farklı hastalar ve tıbbi sağlayıcılar arasında güvenli elektronik sağlık kayıtları paylaşımı sağlamak için akıllı sözleşmeler kullanarak güvenilir bir erişim kontrol mekanizması

tasarlamışlardır. Bu doğrultuda Amazon bulut bilişim ile bir mobil uygulama üzerinde gerçek bir veri paylaşım senaryosunda Ethereum blok zincirini kullanan bir prototip uygulaması sunmaktadırlar.

Blok zincir teknolojisinin yardımıyla aşağıdaki şirketler, tıbbi kayıtların güvenli ve gelişmiş bir şekilde paylaşılması için sağlık sektöründe bu platformlara başvurumaktadırlar. Bunlar (Gupta vd., 2022, s. 9818):

- burstIQ: Büyük verileri güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetmek için blok zincir teknolojisini kullanan Colorado merkezli bir şirkettir.
- Factom: Teksas merkezli bir şirket olan Austin, tıbbi kayıtların saklanması için sağlık kurumlarına blok zincir platformunu sunmaktadır (Snow vd., 2018, s. 1). Depolanan bu verilere yalnızca hastane ve sağlık hizmeti yöneticileri erişebilir. Hasta bilgilerini yalnızca yetkili kişiler tarafından erişilebilen özel veriler olarak kaydeden belgelere güvenlik çipleri yerleştirmektedirler.
- Medikal Zincir: Medikal zincir tamamen tıbbi ve elektronik sağlık kayıtlarının yönetimine yönelik bir sektördür. Londra merkezli medikal zincir şirketi, hasta verilerinin güvenliği ve emniyetine odaklanmaktadır. Sağlık personeli, ihtiyaca göre hastalar hakkında bilgi talep edebilmektedir.
- Guardtime: Irvine, Kaliforniya’da bulunan bir siber güvenlik şirketidir. Bu firma, sağlık verilerinin blok zincir tabanlı platformlara taşınması konusunda kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) merkezli bir sağlık hizmeti sağlayıcısı, veri gizliliği için blok zincir tabanlı çözümler sunmak üzere Guardtime ile yakın zamanda bir anlaşma imzalamıştır.

Farklı sağlık kurumları, ayrı veri tabanı ve merkezi otorite sorunu olmadan birlikte çalışabilirler. Estonya, sağlık kayıtlarını blok zincir üzerine kuran ilk hükümet konumunda bulunmaktadır. Aynı zamanda Gem ve HealthBank gibi şirketlerin hasta kayıtlarının paylaşımının ve sahte ilaçların önlenmesi konularında blok zincirden önemli ölçüde faydalandıkları görülmektedir (Sanka vd., 2021, s. 187).

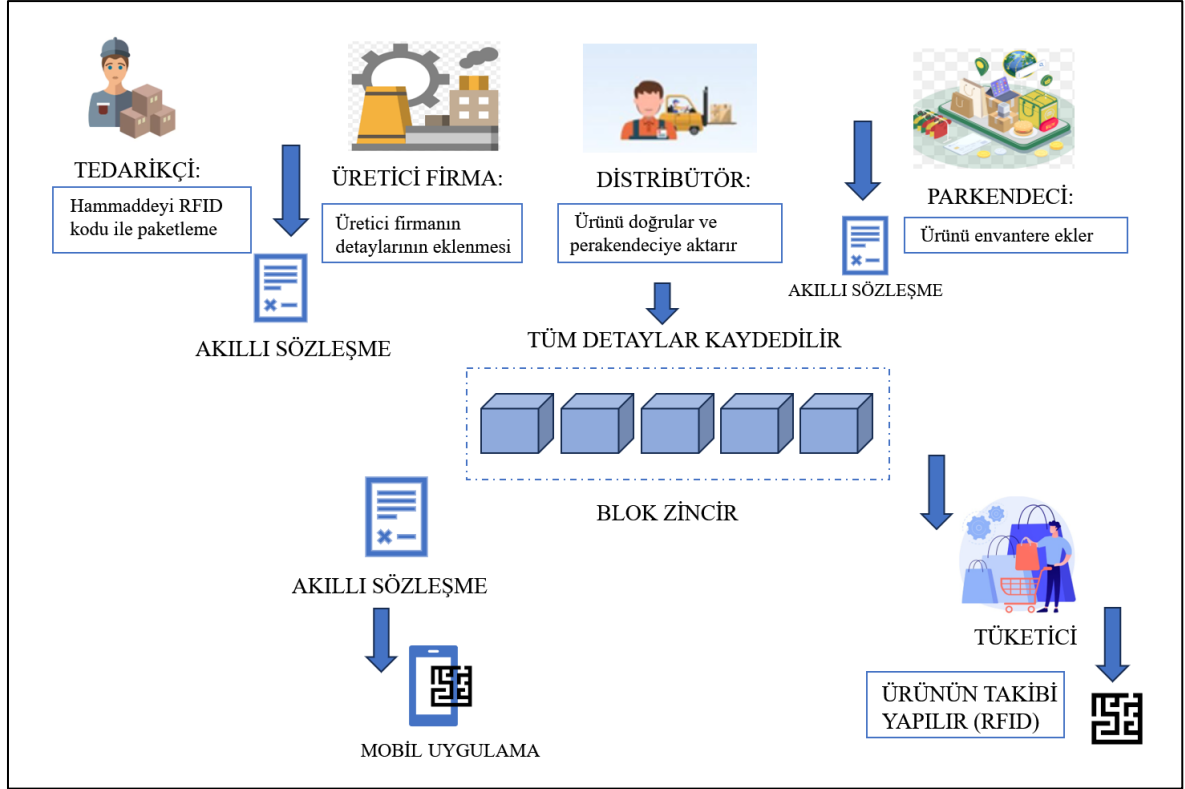
Blok zincir teknolojisinin sunduğu çeşitli avantajlar olsa da bazı dezavantajlar birtakım zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin depolama açısından blok zincir mimarisi sınırlı veri depolamayı mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, bir blok zincir uygulaması tasarlanırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Modifikasyon açısından ise bir yandan blok zincir veri değişmezliği özelliği ile sistemi korurken, diğer yandan veri güncelleme ve silme

işlemini sağlamamaktadır. Burada ya tüm düğümlerden fikir birliği ile yeni bir blok oluşturmak ya da yeni bir zincir oluşturmak gerekmektedir. Bu iki yaklaşım da oldukça maliyetli ve faydalı olmayan yöntemlerdir (Sharma vd., 2021, s. 1228).

2.1.6. Tedarik Zinciri

Her gün dünyanın dört bir yanındaki nihai müşterilere ulaştırılmak üzere milyarlarca ürün üretilmekte ve sevk edilmektedir. Sevkiyat öncesinde ürünler tedarik zincirini oluşturan; perakendeciler, distribütörler, nakliyeciler, depolama tesisleri ve tedarikçilerden oluşan bir ağdan geçerek piyasaya sürülmektedirler. Tedarik zincirindeki bir aksaklık operasyonları geciktirebilir ve mali kayıpların yanı sıra çevresel zarara da yol açabilir. Tedarik zinciri yönetiminin karmaşıklığı, neden-sonuç ilişkilerine dair farkındalığı artırarak risklerin azaltılmasını sağlamak üzere geçişkenlik ve izlenebilirlik gerektirmektedir (Al-Megren vd., 2018, s. 66). Güncel uygulamada, güvenilir bilgilerin depolanması üçüncü taraf bir kuruluş tarafından merkezi olarak yapılmaktadır ve bu da veri depolamada teknik güvenilirlik ve verilerin birlikte işletilebilirliği, güvenliği ve gizliliği ile ilgili riskleri artırmaktadır. Bir blok zincir çözümünün entegrasyonu, alıcılar ve tedarikçiler arasındaki süreç akışlarını ve hesap verilebilirliği iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Dolayısıyla blok zincir teknolojisi, yalnızca dağıtık uygulamalara dayalı yeni bir internet altyapısı türü değil, aynı zamanda yeni bir tedarik zinciri ağı türü olarak da karşımıza çıkmaktadır (Chen vd., 2018, s. 3; Francisco ve Swanson, 2018, s. 1).

Bir imalat tedarik zinciri çözümü için bir blok zincir yöntemi düşünülmektedir. Bu kapsamda, akıllı sözleşmeler yoluyla tedarik taraflarınca erişilebilen ve paylaşılan şeffaf bir sistem sağlamak üzere tasarlanmış özel bir blok zincir yapısı önerilmiştir. Her bir taraf, kimlik ve nitelikleri doğrulayan bir kayıt hizmeti aracılığıyla ağa katılabilmektedir. Ardından, kayıtlı taraflar özel anahtarlarını kullanarak blok zincire erişme, yazma ve okuma iznine sahip olmaktadır. Tedarik süreci boyunca beş veri kategorisi kaydedilmektedir. Bunlar; zaman damgası, ürün bilgileri, kronolojik konum, sahiplik ile ürünler üzerindeki çevresel etkilerdir. Başlangıçtaki doğrulama sürecinden farklı olarak, bir ürün yeni bir tarafa gönderildiğinde ve her iki taraf işlemi doğrulamak üzere akıllı sözleşmeyi imzaladığında yeni bir tedarik kaydı onaylanmaktadır (Abeyratne ve Monfared, 2016, s. 5). Şekil 14 ürün detaylarının takibine yönelik blok zincir tabanlı tedarik zinciri yönetim mimarisini göstermektedir.



Şekil 14. Blok Zincir Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetim Mimarisi (Sharma vd., 2021, s. 1218)

Sonuç olarak blok zincir teknolojisi, tedarik zinciri sürecinde birçok olası işlemi destekleyebilecek devrim niteliğinde bir bilgisayar teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Sharma vd., 2021, s. 1217).

2.1.7. Uluslararası Ticaret

Dünyada dış ticaret süreçleri kapsamlı bir şekilde yürütülmektedir. Teknoloji de yaşanan gelişmeler şirketlerin dış ticaret süreçlerini etkilemekle beraber diğer yandan da söz konusu süreçlerin etkinliğine ve izlenebilirliğine katkı sağlamaktadır. Özellikle farklı ülkelerdeki şirketler ve kamu kurumları arasındaki bilgi ve belge alışverişlerinin güvenli ve hızlı bir şekilde dijital ortama aktarılmasını sağlayan blok zincir teknolojisi, uluslararası ticaretin daha güvenli yollarla gerçekleştirilebilmesi için yeni fırsatlar sunmaktadır. Özellikle bu teknolojiyle, gümrük ve dış ticaret kontrollerinin etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir (Kutlu, 2022, s. 37). Ayrıca ticaret kayıtları, daha iyi takibin ve doğrulamanın yapılabilmesi için blok zincirde saklanabilmektedir (Sanka vd., 2021, s. 188).

Sınır ötesi ithalat ve elektronik ticaret (e-ticaret) perakende işine yönelik ilgili düzenleyici politikalar sürekli olarak güncellenip geliştirilse de gümrük denetiminde; yetersiz yönetim, düşük verimlilik ve yüksek maliyet gibi sorunlar devam etmektedir. Bilhassa vergi oranı politikası, liste sistemi ve yeni politikanın belge denetimi, gümrüklerin denetim kabiliyeti ve denetim verimliliği için daha yüksek gereksinimler ortaya koymaktadır. Bu çelişkiyi çözmek amacıyla Li vd., (2019), blok zincir teknolojisinin niteliklerine dayalı yeni bir gümrük denetim modeli geliştirmişlerdir. Söz konusu yeni gümrük denetim modeli, ithalat e-ticaret perakende işinin mal siparişlerini, ödeme belgelerini ve lojistik belgelerini giriş noktası olarak almaktadır. Dolayısıyla bu gümrük denetim modeli, gümrük denetiminin kalitesini ve verimliliğini artırabilir, vergi denetimindeki boşlukları kapatabilir ve sınır ötesi e-ticaret perakende işinin sağlıklı gelişimini teşvik edebilir.

Günümüzde ilgili kurumlar uluslararası ticaretin finansmanında blok zincir teknolojisini kullanmanın yollarını aramaktadır. Bir dizi finans kuruluşu bu konuda düzen geliştirmiş ya da blok zincir destekli ticaret finansmanı platformları oluşturmuşlardır. Bank of America Merrill Lynch, HSBC ve Infocomm Development Authority of Singapore 2016 yılında bir ticaret finansmanı uygulaması geliştirmişlerdir ve ithalat/ihracat belgelerinin manuel olarak işlenmesini kolaylaştırma, hataları azaltarak güvenliği artırma, mobil etkileşim yoluyla tüm taraflar için kolaylığı artırma ve şirketlerin işletme sermayesini daha öngörülebilir hale getirme potansiyelini gösteren geçerli bir düzen sunmuşlardır (Bank of America Merrill Lynch, HSBC ve Infocomm Development Authority of Singapore, 2016). Ticaret finansmanı uygulaması ile tüm taraflar (ihracatçı, ithalatçı ve ilgili bankalar) verileri gerçek zamanlı olarak görselleştirebilmekte ve iş akışındaki her eylem dağıtılmış bir deftere kaydedilerek gizli veriler şifrelenirken yetkili katılımcılara şeffaflık sağlanabilmektedir (McDaniel ve Norberg, 2019, s. 9). Avrupa bankaları 2018 yılının temmuz ayında en az dokuz büyük finans kuruluşunun yer aldığı bir ticaret finansman blok zincir platformu başlatmışlardır. İlk odak noktası Avrupa’da ticaret yapan küçük ve orta ölçekli işletmeler gibi görünmekte olup, bir sonraki aşamada ilave bankaların ve bu bankaların Avrupa ile diğer ülkelerdeki müşterilerinin katılımının hedefleneceği bildirilmiştir (Zhao, 2018).

2.1.8. Bankacılık Uygulamaları

Blok zincir teknolojisi, bankacılık alanında da önemli bir kullanıma sahiptir. Birçok banka sistemlerini iyileştirmek amacıyla blok zincir teknolojisini kullanmaktadır. Blok zincir ile

gerçekleştirilen ilk bankacılık işlemi 2016 yılında Commonwealth Bank of Australia ve Wells Fargo arasında gerçekleştirilmiştir (Kaye, 2016).

Blok zincir teknolojisi, varlıkların dijitalleştirilmesini ve eşten eşe değer transferini mümkün kılarak bankacılık alanına yeni bir yaklaşım getirebilir. Bu sayede bankacılık işlemlerin verimliliği artabilir ve işlem maliyetleri de azalabilir. Blok zincir teknolojisi sayesinde eşten eşe ödeme gerçekleştirmek mümkün olabilir. Böylelikle üçüncü taraf finansal kurumların aracı rolü ortadan kaldırılarak bankaların işlem maliyetleri düşürülebilir. İlaveten bankalar, sınır ötesi ticari faaliyetler için hızlı ve kolay ödeme hizmeti sunabilirler. McKinsey'in yaptığı bir tahmine göre, blok zincir teknolojisi ile gerçekleştirilen sınır ötesi ödemelerde, bankaların işlem maliyeti büyük ölçüde azaltılabilir. Örneğin Standad Chared Bank, kurumsal düzeyde bir blok zincir platformu olan XRP'yi kullanarak ilk sınır ötesi işlemi gerçekleştirmiştir. Aynı şekilde Avustralya Ulusal Bankası da XRP'nin defter teknolojisini kullanmaktadır (Guo ve Liang, 2016, s. 6).

2.1.9. Sigortacılık Hizmetleri

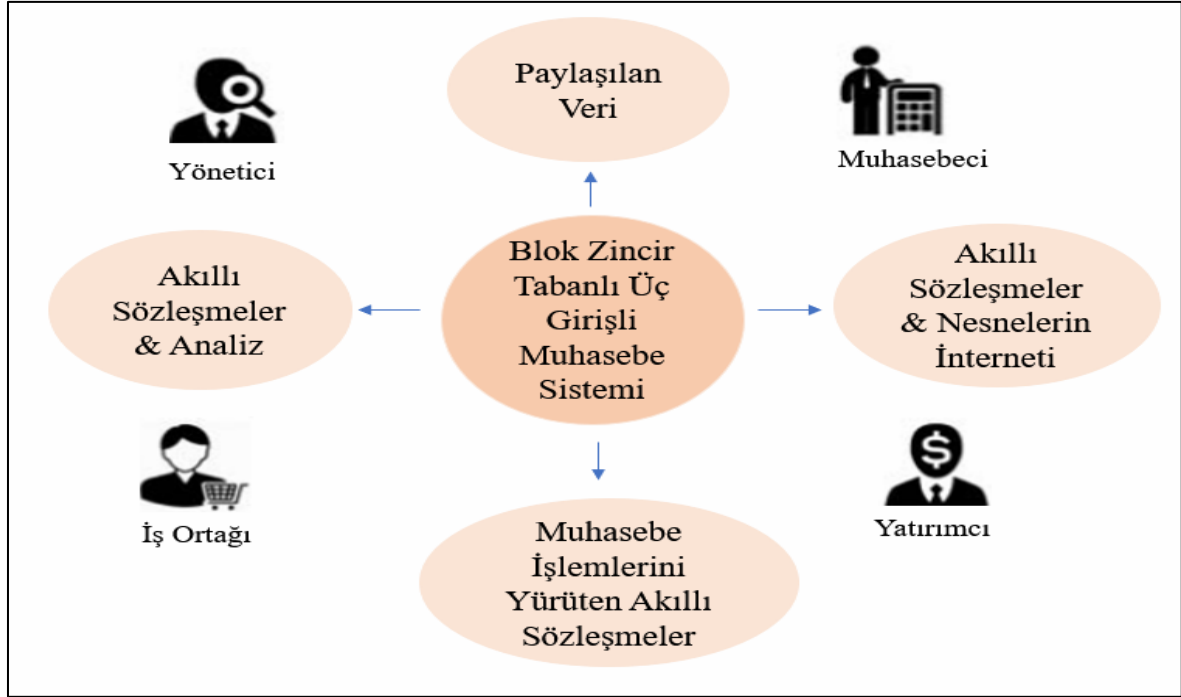
Blok zincir teknolojisi sigortacılık hizmetlerinde de kendine yer bulmaktadır. Sigorta verilerinin blok zincir üzerine yerleştirilmesi dolandırıcılığı önlemekte ve sigorta şirketleri arasında veri paylaşımına ve birlikte çalışabilirliğe olanak sağlamaktadır. Bu sayede insanların aynı sigortayı birden fazla şirketten talep etmesi engellenmektedir (Sanka vd., 2021, s. 187). Ayrıca sigortacılık hizmetlerinde blok zincir uygulaması ile ortaya çıkan bilgi akışındaki iyileşmeler bireyler için verimlilik sağlamaktadır. Sigorta şirketlerinin gruplar halinde sürece dâhil olması ile bu bilgi işleme biçiminin sektör yapısını değiştirmesine ve bu yolla operasyonel ve süreçsel açıdan rekabet kurallarını dönüştürmesine neden olabilmektedir (Brophy, 2019, s. 226). Zaman içerisinde sigorta şirketleri tarafından blok zincir kullanımının giderek arttığı gözlemlenmektedir.

2.1.10. Muhasebe-Denetim

Günümüzde dijital dolaşımda yaygınlaşan kripto paraların fiziki bir varlığa sahip olmayışı, bu paraların ekonomik sistem içerisindeki varlığını değiştirmemekle birlikte, bu paralar kullanılarak gerçekleştirilen ekonomik işlemlerin raporlama süreçlerinin muhasebe ve denetim açısından ihmal edilmemesini de beraberinde getirmektedir (Uysal ve Kurt, 2018,

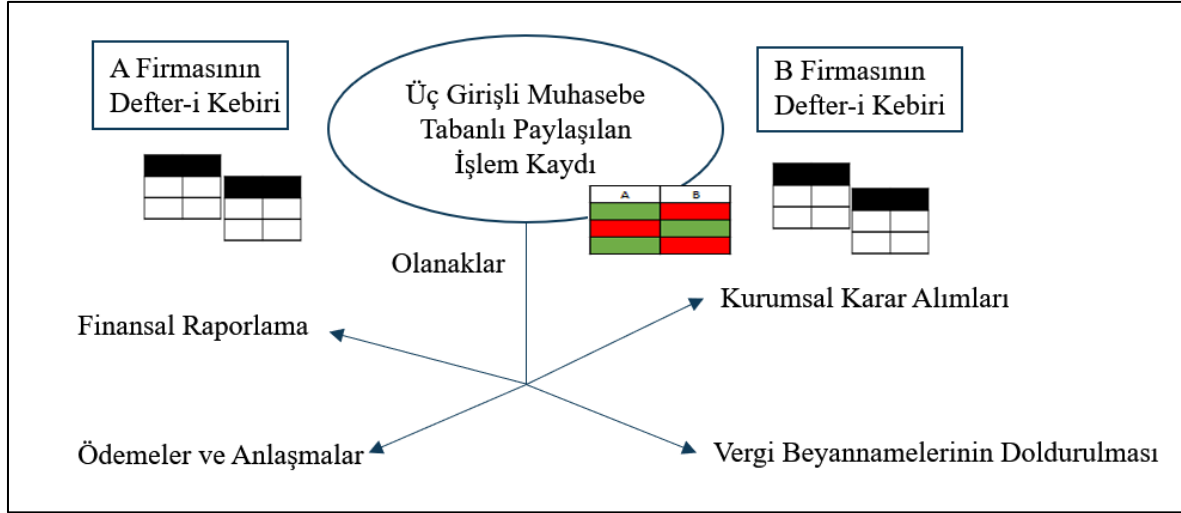
s. 472). Muhasebe sürecinde blok zincir veri tabanlarını ve altyapısını kullanma fikri, blok zincirin Bitcoin işlemleri için bir defter olma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bunun anlamı, Bitcoin’de gerçekleşen işlem verilerini yazmaya, muhafaza etmeye ve yayınlamaya hizmet eden gerçek bir muhasebe sisteminin var olmasıdır. Blok zincir herhangi bir güvenilir üçüncü taraf aracısı olmadan para birimi işlemlerini gerçekleştirebildiğinden, para birimi transferinin mali ilişkilerin en kapsamlı şekilde düzenlenmiş alanlarından biri olduğunu göz önünde bulundurarak, aynı şekilde hisse senetleri, tahviller ve ipotekler gibi her türlü varlıkların işlemlerini de gerçekleştirebilir. Esasen, işlemlerinde blok zincir sistemlerini kullanan çok sayıda şirketle birlikte, bu işlemleri herhangi bir zamanda mali tablolar halinde toplamak mümkün olabilecektir (Kılınç, 2020, s. 991).

Ayrıca blok zincir teknolojisi, günümüzde muhasebede verilerinin güvenli bir şekilde tutulması, bu verilerin ilgili kullanıcılarla anlık olarak paylaşılması ve doğrulanabilirliğinin sağlanması gibi amaçlarla kullanılabildiği için de bu teknoloji muhasebe mesleğinin büyük ölçüde faydalanabileceği söylenebilir. Blok zincir tabanlı muhasebe sistemi ile yöneticiler, muhasebeciler, iş ortakları ve yatırımcılar işlemleri doğrulamak için aktif olarak iş birliği yapabilmekte ve çapraz doğrulama için güvenilir kanıtlar sağlayabilmektedirler. Akıllı sözleşmeler, önceden belirlenmiş kurallara dayalı olarak muhasebe süreçlerini izleyen otomatik kontroller olarak hizmet edebilmektedir. Bunun yanı sıra, nesnelerin internetinin ilerlemesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte kontroller blok zincire entegre edilebilmektedir. Bu nesnelerin interneti tabanlı kontroller, iş süreçlerini gerçek zamanlı olarak izlemek ve yürürlüğe koymak için çeşitli fiziksel nesnelere dâhil edilebilmektedir. Bu bileşenler bir araya gelerek gerçek zamanlı, doğrulanabilir ve şeffaf bir muhasebe ekosistemi oluşturmaktadır. Şekil 15 blok zincir tabanlı muhasebe ekosistemine genel bir bakış sunmaktadır (Dai ve Vasarhelyi, 2017, s. 9-10).



Şekil 15. Blok Zincir Tabanlı Muhasebe Ekosistemine Genel Bir Bakış (Dai ve Vasarhelyi, 2017, s. 10)

Son altı yüz yıldır dünya genelinde muhasebe sistemlerinde “çift kayıt usulü yöntemi” kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem tüm şirketlerin finansal raporlamalarının temeli konumundadır. Ancak blok zincir teknolojisi muhasebe alanına yeni bir yöntem sunmaktadır. “Üç girişli muhasebe” olarak adlandırılan bu sistem, ticari işlemlerin blok zincire üçüncü bir giriş olarak kaydedilmesi ve saklanmasıyla oluşmaktadır. Bu üçüncü girişin güvenilir, değişmez ve şeffaf bir sistem sunması beklenmektedir (Mahtani, 2022, s. 97). Sistem, muhasebenin güvenilirliğini sağlamak için bir işlemde her bir tarafça kaydedilen borç/alacak girişlerini otomatik olarak onaylamaktadır. Buna ek olarak vergilerin geçmişe dönük olarak kaydedilmesi ihtiyacını ortadan kaldırarak vergi kaçakçılığına karşı güvenli bir otomatik platform sunmaktadır (Karajovic vd., 2019, s. 319).



Şekil 16. Üç Girişli Muhasebe Sistemi Olanakları (Ibañez vd., 2021, s. 15)

Üç girişli muhasebe sistemi gerek akademisyenler gerekse profesyoneller tarafından yıllardır tartışılmaktadır (Grigg 2024; Kiviat, 2015; Tan ve Low, 2019; Tyra, 2014). Bu mekanizma, her bir işlemi doğrulamak amacıyla bağımsız ve güvenilir bir aracı gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, aracı tarafından saklanan kayıtlar da siber saldırılar nedeniyle kaybolabilmekte veya yetkisiz değişiklik riskine maruz kalabilmektedir. Blok zincir teknolojisi bu mekanizmayı iyileştirebilme ve bu sorunları hafifletebilme potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, depolama ve doğrulama sürecini dağıtarak ve otomatikleştirerek aracı rolünü oynamaktadır. Böylece tahrifatı ve düzensiz muhasebe girişlerini önleyen güvenli bir temel sağlayabilir. Blok zincirin doğası gereği, bir muhasebe girişi onaylandıktan ve zincire eklendikten sonra, değiştirilmesi ve yok edilmesi mümkün olmamaktadır. Ayrıca blok zincir tabanlı akıllı sözleşme teknolojisi, muhasebe standartlarına veya önceden belirlenmiş iş kurallarına uygun olarak işlem kayıtlarının hızlı bir şekilde doğrulanmasını sağlayabilir. Üç girişli muhasebe sisteminin blok zincire kodlanmasıyla şeffaf, kriptografik olarak güvenli ve kendi kendini doğrulayan bir muhasebe bilgi sistemi oluşturulabilir. Dolayısıyla bu süreç ticari taraflar arasında güvenilir veri paylaşımını ve raporlamayı kolaylaştırabilir (Dai ve Vasarhelyi, 2017, s. 10).

Büyük dörrtlü olarak bilinen “Big Four” denetim şirketleri, blok zincir teknolojisi tabanlı uygulamalarını kendi iş ve işlemlerindeki uygulamalara nasıl dâhil edebilecekleri noktasında adımlar atmışlardır. Örnek olarak PricewaterhouseCoopers (PwC), küresel müşteri hizmetlerinin bir parçası olarak dijital varlıklar geliştirmek amacıyla blok zincir teknolojisini bir platform olarak kullanırken, Deloitte blok zincir teknolojisinin tedarik zinciri

verimliliğini artırma potansiyeli üzerine araştırmalar yapmaktadır. Benzer şekilde KPMG; Microsoft ile denetim, vergi ve danışmanlık alanlarında müşterileri için inovasyonu hızlandırmak amacıyla blok zincir teknolojisi tabanlı uygulamaları kullanmak için iş birliği içerisinde bulunmaktadırlar. Bir blok zincir sistemi, işlemlerin detaylarını sağlayan ve herhangi bir merkezi otorite olmaksızın tüm düğümlere açık olan halka açık defterlerden oluşmaktadır. Bu düğümlerin anonim olması güveni sağlamaktadır (Tan ve Low, 2019, s. 316). Sonuç olarak blok zincir teknolojisi ile dağıtılmış defter kullanan üç girişli muhasebenin günümüzde güvenilir olduğu öngörülmekte ve dolandırıcılık uygulamalarını azaltması ve varlıklar arasındaki işlemleri kaydetmek için daha iyi bir yöntem sağlaması beklenmektedir.

Denetim sektöründeki öncelikli sorun, incelenen belgelerin doğruluğunun %100 teyit edilememesidir. Bir diğer husus ise önemli ölçüde zaman ve maliyet gerektiren bir iş olmasıdır. Blok zincir teknolojisi, denetim firmalarının sadece makul güvence değil mutlak güvence vermesini sağlayarak denetim süreçlerinin daha az maliyetle yönetilmesini sağlayacaktır. Bu teknoloji ile ilgili dünyanın ilk dört büyük uluslararası bağımsız denetim firmasının ciddi çalışmaları olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Trust Explorer uygulaması örnek olarak verilebilmektedir (Şuekinci ve Çatıkkaş, 2020, s. 60).

Teknolojiye entegre edilmiş olan yönetmelik ve prosedürlerin şeffaflığı, izlenebilirliği, değişmezliği, ilgili süreçleri ve bilgileri geliştirerek denetim ve kontrol yöntemlerini önemli ölçüde değiştirmektedir (Brender vd., 2019, s. 35). İç denetim perspektifinden bakıldığında, blok zincir tabanlı uygulamalar hakkında devrim niteliğinde olan şey, bilgi ve işlemler ile ilgili gerçeği bulmaya yönelik yeni bir yaklaşım sunmalarıdır. Blok zincirin ortaya çıkışına kadar gerçek olan kayıtlar, belirli defterlerin veya veri tabanlarının tutulmasına güven duyulan bir üçüncü tarafın bu sistemi yönetmesine dayanan bir sistemdi, ancak blok zincir teknolojisi ile bu yapı tamamen değişebilecektir (Karahan ve Tüfekci, 2019, s. 64).

Blok zincir teknolojisinin muhasebe-denetim alanında bir güven yöntemi olarak kullanılması muhasebe süreçleri açısından avantajlı etkiler yaratabilir. Âdem-i merkezîyetçi bir defterin güvenilir yapısı, muhasebe işlemi ile ilgili herhangi bir idari sürecin doğruluğunu denetleme ihtiyacını önemli ölçüde ortadan kaldırabilir. Mali bir raporun veya belgenin oluşturulması ile bu raporun veya belgenin alıcıya aktarılması sırasında istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesini önlemek amacıyla belge veya raporun hazırlanması sırasında zaman damgası kullanılabilir. Bu sayede muhasebe bloğunun değişmez olması, belirli bir belgenin tüm yaşam döngüsü boyunca şeffaf ve doğru kalmasını sağlayabilir.

Bunun yanı sıra belgeler daha kolay erişim ve geriye dönük analiz için blok zincirde kronolojik bir şekilde sıralanabilir. Bu süreç birçok şirket ve sektör için tekrar edilebilir veri döngüsü meydana getirebilir (Atabaş, 2018, s. 106).

Günümüzde neredeyse her sektörde faaliyet gösteren işletmelerin bir muhasebe birimi bulundurması ve muhasebe işlemlerinin bağımsız, tarafsız ve mesleki bilgi seviyesi yüksek kişi/kurumlar tarafından denetlenerek işletmenin gerçek durumunun ifade edilmesi gerekmektedir. Özellikle firmalar tarafından sağlanan bilgilerin doğru, zamanında ve kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde olması gerekliliği ve bu gerekliliğin blok zincir ile kolaylıkla karşılanabilir olması, bu teknolojinin kullanımının önemine özellikle vurgu yapmaktadır (Kılınç, 2020, s. 991).

2.2. Blok Zincir Teknolojisinin Avantajları

Blok zincir teknolojisi aralarında üçüncü taraf bir kuruluşa ihtiyaç duymadan birçok süreç ve işlem hizmetinin daha şeffaf, merkezi olmayan, demokratik, anonim ve güvenli hale getirilmesini sağlayan bir araçtır (Rivera vd., 2017; Sharma vd., 2021, s. 1201). Blok zincir ağlarının çoğu, herkesin işlem geçmişine erişebildiği, ancak bu işlemleri yapan kullanıcılar hakkında bilgi alamadığı halka açık bir platform kullanmaktadır. Çünkü yapılan işlem, o işleme katılan kullanıcıların fiziksel kimliğini ya da adresini içermez. Açık anahtar kullanılarak oluşturulan bir adres işlem yapmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle blok zincir platformu, kullanıcılarına tam bir gizlilik sunmaktadır. Bunlara ek olarak blok zincir platformunda bir işlem zincire eklenip doğrulandıktan sonra kaydedilmektedir. İşlemlerin artık bloğa girmesini önlemek amacıyla, işlemimizi içeren bloktan sonra altı blok kadar daha beklenilmesi önerilmektedir. Bu da bir işlemin blok zincir teknolojisiyle gerçekleşmesinin alabileceği maksimum süreyi ifade etmektedir. Bununla birlikte, banka gibi bir aracı vasıtasıyla yapılan aynı işlemin işleme alınması birkaç gün sürebilir ve ticaretin sınırları aşması durumunda bu süre daha da artabilir. Dolayısıyla blok zincir teknolojisi, işlemlerin araçlar vasıtasıyla gerçekleştirildiği normal yöntemlere kıyasla daha fazla etkin olmaktadır (Gupta vd., 2022, s. 9813).

Blok zincirin sağlayacağı potansiyel faydalar ekonomik olmanın ötesinde siyasi, insani, sosyal ve bilimsel alanlarda da karşımıza çıkmaktadır. Bankacılık ve ödeme, nüfus artış tahmini, sağlık hizmetleri tıbbi kayıtları, oy kullanımı, devlet faaliyetlerinin dijital hizmetleri, finansal hizmetler ve diğer birçok senaryo gibi akıllı bir şehir ortamının

etkileşimde bulunduğu farklı alanlarda olumlu etki yaratacak potansiyele sahiptir (Rivera vd., 2017).

Doğrudan blok zincir üzerinde yeni hizmetler oluşturuldukça, finans kuruluşlarının aracılıktan çıkarılması daha hızlı, ucuz ve erişilebilir işlemlere katkıda bulunabilir. Bunun yanı sıra blok zincir sunduğu her türlü değer alışverişini barındırma kabiliyeti, ticaret konusu varlıkların çeşitlendirilmesi ile bu alanlarda artışın yaşanmasına yol açabilir. Blok zincir teknolojisinin en önemli konusu güvendir. Bu teknoloji programlanabilir akıllı sözleşmeler aracılığıyla blok zincire bağlı kod kullanımı arttıkça yasal hizmetler ve iletişim otomatik hale gelmekle birlikte daha güvenli bir ortam sunabilir (Niranjanamurthy vd., 2018, s. 14743).

Blok zincir teknolojisinin avantajları; koordinasyon, kayıt tutma ve blok zincir teknolojisini kullanan işlemlerin geri alınamaz oluşu, toplumdaki ilerleme için Magna Carta veya Rosetta Taşı kadar temel olabilecek özelliklerdir. Dolayısıyla blok zincir; tüm dokümanların, olayların, kimliklerin ve varlıkların kaydı da dâhil olmak üzere tüm toplumlar için kamusal kayıt deposu olarak hizmet verebilmektedir. Bu sistem içerisinde, tüm mülkler akıllı mülk haline gelebilir. Bu, her varlığın blok zincire benzersiz bir tanımlayıcı ile kodlanması anlamına gelmektedir. Bu şekilde, varlıklar blok zincirde izlenebilir, kontrol edilebilir ve takas edilebilir. Bu sayede her türlü maddi varlık (evler, arabalar) ve dijital varlıklar blok zincire kaydedilebilir ve işlem görebilir (Swan, 2015, s. 8). Blok zincir teknolojisindeki önemli bir diğer nokta, herhangi bir ağ kullanıcısı işlemi doğruladıktan sonra bu işlemi değiştiremeyeceğidir. Bir işlem hata üretirse yeni bir işlem başlatılamaz ve o işlem tüm kullanıcılara görünür hale gelmektedir (Abbassi ve Benlahmer, 2021, s. 339).

Blok zincir teknolojisinde, değiştirilemez dağıtık defterde saklanan her bir bilgi parçasının kaynağı her zaman belirlenebilir. Bu dağıtık defter muhasebe işlemlerinden çok daha fazlasını yapmaktadır. İşlemleri olduğu gibi kaydetmek, mülkiyeti teyit etmek, kimliği doğrulamak (doğum, ölüm ve evlilik kayıtları) statüyü (vatandaşlık kaydı) ve yetkiyi doğrulamak için kullanılabilir (Gupta vd., 2022, s. 9812).

Blok zincir teknolojisi ile birlikte hisse senedi, para, dijital mülk ve tapular gibi değerli herhangi bir şeye erişilebileceği ve hatta kimlik bilgisi gibi güvende tutulması gereken bilgilerin saklanılabileceği ve kolaylıkla yönetilebileceği yeni bir dijital değer ortamına sahip olunabilmektedir. Güvenin üçüncü bir taraf aracılığıyla olmaksızın, bir ağ zinciri vasıtasıyla akıllı kod ve kitlesel mutabakat anlaşmaları ile tesis edilen bu teknolojinin,

işletmelerden teknoloji firmalarına kadar hatta merkezi bir bilgi deposu olarak hizmet sunan bir kuruluş olan devlet tarafından da kullanılması mümkün olmaktadır. Üçüncü bir aracıya ihtiyaç duyan şirketler, merkezi yapıları nedeniyle dışarıdan müdahaleye açık hale gelerek başarısız olma ihtimalini taşımaktadırlar. Örnek olarak Morgan Stanley, Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) New York şehrinde bulunan önemli yatırım bankası, yurtdışı müşteri işlemlerinde para aktarırken vergilendirme sürecinin maliyeti %10'a gelmektedir. Ayrıca merkezileşme, milyarlarca insanı küresel ekonominin dışında bırakmaktadır. Bunun nedeni; doğum belgesi, pasaport ve fatura gibi istenilen evraklar olmadan banka hesabı dâhi açamıyor olmalarıdır. Ekonomide var olan gelir eşitsizliğine karşı tek kamu politikası çözümü servetin yeniden dağıtılması olarak karşımıza çıkmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Bugün toplumlarda geçerli olan genel kanıya göre, “*daha çok kazanan dan daha çok, daha az kazanan dan daha az*” vergi alınması yoluyla bireyler arasındaki servet dağılımı eşitsizliğinin olabildiğince azaltılması düşüncesi hâkimdir (Yereli ve Ata, 2011, s. 21). Bu hâkim düşünce bizi Rawls'un teorisine (Walraevens, 2023, s. 861), daha açık bir ifadeyle minimumu maksimize etme kuralı olarak bilinen kazanılmış servetin, toplumdaki en dezavantajlı grubun refahını azami düzeye çıkaracak şekilde vergilendirme yoluyla belirli bir kısmının yeniden dağıtılması anlayışına götürmektedir (Güneş, 2017, s. 110; Kirmanoğlu, 2019, s. 81; Savaşan, 2019, s. 142-145). Söz konusu anlayış ile servet dağılımının eşit bir şekilde dağılımı mümkün olabilir, ancak blok zincir teknolojisi ile başka bir fırsat daha karşımıza çıkmaktadır. Burada servetin yeniden dağıtılmasından ziyade, servetin önceden adil bir şekilde dağıtılması yoluyla mümkün olabilmektedir. Blok zincir teknolojisi ile bu eşit dağılım; tapu gibi değişmez kayıtlar korunarak, gerçek bir paylaşım ekonomisi yaratarak ve havale dolandırıcılığını sona erdirerek gerçekleştirilebilir (Tapscott ve Tapscott, 2016). Dolayısıyla blok zincir teknolojisi daha açık, kapsayıcı, kolay ve adil bir ekonomi çerçevesi yaratmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Blok zincirin potansiyelinin bu şekilde uygulanması, yeni kurulan şirketlerin kendi yenilikçi projelerini oluşturmalarını kolaylaştırabilir (Pollock, 2018).

2.3. Blok Zincir Teknolojisinin Dezavantajları

Blok zincir teknolojisiyle sağlanan güvenliğe rağmen blok zincir uygulamalarında, özellikle de halka açık blok zincirlerde (çoğunlukla kripto para birimleri) bazı güvenlik tehditleri ve

açıkları tespit edilmiştir. Özel ve konsorsiyum blok zincirler, kısıtlı erişimleri nedeniyle daha güvenli bir yapı karşımıza çıkarmaktadır. Dolandırıcılık, kötü amaçlı yazılım saldırıları, hizmeti aksatma (denial of services (DoS)), siber saldırılar, uygulama ve ağ açıkları yaygın olarak bildirilen güvenlik sorunlarıdır (Saad vd., 2020, s. 25; Wang vd., 2019, s. 19). 2018 yılının mayıs ve haziran aylarında beş blok zincir tabanlı kripto para birimi; sırasıyla Monacoin, Bitcoin Gold, Zencash, Verge ve LTC Cash, %51'lik (Rembert, 2019) bir saldırının hedefi konumuna gelmişlerdir. Bu saldırı yaklaşık beş milyon dolarlık bir kayba neden olmuştur. Saldırganlar her bir kripto para biriminde, işlemleri yeniden düzenlemek ve diğer madencilerin blokları hesaplamasını engellemek için kullanılan ağların hash oranının %51'inden fazlasını elde etmeyi başarmışlardır. Bunun sonucunda, blok zincir üzerinde kontrol sahibi olabilmiş ve değerli işlemler üzerinde çifte harcama yapabilmışlardır (Saad vd., 2020, s. 1).

Blok zincir teknolojisi geleceğin internet sistemlerinin inşasında büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bir dizi teknik zorlukla karşı karşıya kalmaktadır. İlk olarak, ölçeklenebilirlik büyük bir endişe kaynağıdır. Bitcoin blok boyutu şu anda 1 MB ile sınırlıdır ve yaklaşık her 10 dakikada bir blok çıkarılmaktadır. Bunun sonucunda, Bitcoin ağı saniyede 7 işlem hızıyla sınırlandırılmıştır ve bu da yoğun işlem hacmi karşısında yetersiz kalmaktadır. Ancak, daha büyük bloklar ve depolama alanı ile ağda daha yavaş ilerleme gerçekleşmektedir. Kullanıcılar böylesine büyük bir blok zinciri korumak istediklerinden bu durum giderek merkezileşmeye yol açacaktır. Bu nedenle blok boyutu ve güvenlik arasındaki ödünleşme bir sorun haline gelmektedir (Zheng vd., 2018, s. 354). İkinci olarak, madencilerin çıkarıcı bir yaklaşımla adil paylarından daha fazla gelir elde edebilecekleri kanıtlanmıştır (Eyal ve Sirer, 2018, s. 97).

Blok zincir teknolojisi, işlemleri aracı olan üçüncü bir tarafa ihtiyaç duymadan gerçekleştirmektedir. Ancak blok zincir teknolojisinde hem işlem gücü hem de enerji kaynaklarının büyük bir tüketimi söz konusu olduğundan tamamen maliyetsiz olmaktan uzaktır. Örneğin Bitcoin ağı tek başına Danimarka'nın yıllık tüketimine eşdeğer elektrik tüketmektedir (Jezard, 2017). Blok zincir platformu tarafından sağlanan gizlilik, ağı saldırıganlardan korumaktadır. Ancak bu durum blok zincir ağı üzerinde suçlular tarafından kullanılabilir. Bitcoin 2011 yılında Silk Road olarak bilinen karanlık web sitesinde ticaret yapan uyuşturucu satıcılarının tercih ettiği para birimi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yasadışı mallarla ilgilenen bu karanlık web platformu, Federal Soruşturma Bürosu (Federal Bureau of Investigation (FBI)) tarafından kapatılmadan önce, kullanıcılara

web sitesine erişme ve iz bırakmadan Bitcoin ile alışveriş yapma olanağı sağlamaktaydı (Kumar ve Rosenbach, 2019). ABD’den sonra, çevrimiçi alışverişin tamamıyla gizlilik özelliğine sahip blok zincir ağı üzerinden yapılması engellenmiştir. Bu tür platformlarda çevrimiçi alışveriş yapmadan önce, her müşterinin kimliğinin doğrulanması ve müşterilerin hesaplarını açmadan önce bilinen veya şüpheli terör örgütleri listesinde yer almadığının teyit edilmesi zorunlu hale getirilmiştir (Gupta vd., 2022, s. 9814).

Blok zincir teknolojisi, ülkeler için fırsatlar yaratmakla birlikte zaman zaman zorluklara da neden olabilmektedir. Ülkelerin merkez bankaları tarafından denetim altında olmaması, ülkelerin para politikası üzerinde daha az kontrole sahip olmalarına yol açabilecektir (World Economic Forum, 2015, s. 26). Blok zincir sisteminde, her bir ağ düğümü blok zincirdeki tüm veri kayıtlarını saklamaktadır. Bununla birlikte blok zincir hızla büyüdükçe, her düğümde depolanan veri miktarı artmakta ve bu da daha fazla hesaplama ve depolama yüküne neden olmaktadır. Yeni bir kullanıcının blok zincir ağındaki belirli işlemleri incelemeye ve denetlemeye katılabilmesi için öncelikle blok zincirdeki tüm blok kayıtlarını yüklemek üzere belirli bir zaman ve depolama alanı harcaması gerekmektedir (Dong vd., 2023, s. 26). Bu doğrultuda karşılaştırma yapabilmek adına blok zincir teknolojisinde yer alan çeşitli avantaj ve dezavantajlar Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Blok Zincir Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Güvenlik: Kriptografik (şifreleme) teknikler ve âdem-i merkeziyetçilik yoluyla gelişmiş veri koruması sağlar.	Ölçeklenebilirlik: Dağıtık yapısından kaynaklanan potansiyel performans sorunları olabilecektir.
Şeffaflık: Dağıtık defter, tüm katılımcıların aynı bilgilere erişebilmesini sağlar.	Enerji tüketimi: İş kanıtı mutabakat mekanizmaları fazla enerji tüketebilir.
Değiştirilemezlik: Blok zincire bir kez veriler kaydedildikten sonra değiştirilmeye karşı koruma sağlar.	Mevzuat eksikliği: Mevzuat belirsizlikleri ve potansiyel kötüye kullanım olabilecektir.
Hızlı ve düşük maliyetli işlemler: Eşler arası işlemlerdir.	İşlemlerin geri döndürülemez olması: Hatalı işlemlerin veya suistimallerin geri alınması oldukça zordur.
İzlenebilirlik ve denetlenebilirlik: Zaman damgalı ve şeffaf işlem geçmişi vardır.	Karmaşık yapı ve öğrenme eğrisi: Anlamak için gerekli teknik bilgi birikimine ihtiyaç vardır.
Akıllı sözleşmeler: Önceden belirlenmiş koşullara sahip otomatik olarak kendi kendini yürüten anlaşmalardır.	Veri depolama: Masraflı ve büyük veri depolaması için pratik değildir.

Geliştirilmiş gizlilik: İlave gizlilik için anonim hale getirme söz konusudur.	Sınırlı verimlilik: Bazı blok zincirlerde daha uzun işlem gerçekleştirme süresi gerekebilecektir.
Küresel erişilebilirlik: İnternet bağlantısı olan herkes için internet tabanlı erişilebilirlik vardır.	Yönetişim mekanizmalarının eksikliği: Yavaş karar alma ve uzlaşma zorlukları söz konusu olabilecektir.
Düşük dolandırıcılık riski: Müdahaleye dayanıklı yapısı dolandırıcılık faaliyetlerini azaltabilir.	Kurumlararası birlikte işlerliğin getirdiği zorluklar: Farklı blok zincirleri arasında veri aktarımında çeşitli zorluklar karşımıza çıkabilecektir.

Kaynak: Dong vd., 2023, s. 19

2.4. Blok Zincir Cennetleri ve Blok Zincir Teknolojisinin Uygulandığı Ülke Örnekleri

Çalışmanın bu alt başlığında literatürde önemli bir yeri olan blok zincir cennetleri kavramına yer verilmiştir. Ayrıca blok zincir teknolojisinin uygulandığı çeşitli ülke örnekleri değerlendirilmiştir.

2.4.1. Blok Zincir Cennetleri

Ekonominin hızla gelişen blok zincir sektöründe önemli atılımlar yapan ülkelerin çoğu, banka mahremiyeti ve vergi muafiyetinin temel özellikler haline geldiği tanınmış offshore finansman merkezleridir. Bunlar literatürde “vergi cennetleri” olarak bilinmektedir. Vergi cenneti olarak bilinen ülkeler, blok zincir şirketlerini bünyelerine katma girişimi açısından dünya ekonomisinde ön plana çıkan ülkeler arasında yer almaktadır (Marian, 2020, s. 772). Bu deniz aşırı finans merkezleri güven ile birlikte, düşük düzeyde denetim ve asgari düzeyde vergilendirme sunarak blok zincir girişimcilerine hitap etmektedir. İlaveten vergi cenneti olan bu ülkeler yetki alanları içerisinde yer alan şirketlerden kuruluş ücretleri almaktadırlar (Marian, 2020, s. 773). Bu ülkeler kendi kalkınma hedeflerini güçlendirmek ve bu potansiyel finansal devrimi kullanmak amacıyla blok zincir teknolojisi girişimlerini kendi sınırlarına çekmeye çalışmaktadırlar. Bu oluşturulan ortam diğer bir ifadeyle “kripto para cennetleri” olarak da karşımıza çıkmaktadır (Pollock, 2018).

Genel olarak vergi cenneti olarak nitelendirilen bölgeler günümüzde blok zincir tabanlı girişimler için merkez haline gelmektedir. Bu bölgeler, gelişmiş ekonomiler tarafından uygulanan mevzuata ve vergilere ilişkin maliyetlerden kaçınma imkânı sunması dolayısıyla blok zincir teknolojisi girişimleri uygulamak isteyen şirketleri kendilerine çekmektedir.

Yatırımcılar ve girişimciler, blok zincir teknolojisi ve kripto varlıklarla ilgili düzenlemeleriyle avantajlı olan ülkeleri “blok zincir cennetleri” olarak adlandırmaktadırlar. Son yıllarda birçok ülke blok zincir teknolojisinin önde gelen merkezi olmak için çeşitli çalışmalar yürütmektedir (Tapscott, 2018). Bahsi geçen blok zincir cennetleri uluslararası vergi kaçırma ve vergiden kaçınma ile ilişkilendirilen bir regülasyon veya kıyasıya yarışa neden olmaktadır (Marian, 2020, s.771).

Bu cennetlerden birçoğu daha küçük ülkelerde oluşturulmaktadır. İsviçre, Malta ve Bermuda gibi yerler, blok zincir projelerini desteklemek için aktif olarak düzenlemeler yapmakta ve mevzuat oluşturmaktadırlar (Pollock, 2018). Örneğin İsviçre blok zincir ve kriptografiyle ilgili teknolojilerin ve işletmelerin geliştirilmesini desteklemeyi amaçlayan hükümet destekli bir konsorsiyum başlatmıştır (Suberg, 2017). İsviçre küçük bir kasaba olan Zug’da 2.0 versiyonu olan Kripto Vadisi’ne (Crypto Valley) sahip olma arzusundadır (PostFinance, 2023). İsviçre, blok zincirle ilgili yeni bir mevzuat oluşturmak yerine, mevcut düzenleyici çerçeveyi uygulamakta, ancak esnek ve ilke temelli bir yaklaşım benimsemektedir (Haeberli vd., 2024; Pollock, 2018).

Blok zincir şirketlerini cezbetme noktasında İsviçre’ye en büyük rakip küçük Akdeniz adası Malta’dır. Malta hükümeti ise, Malta’yı kripto para birimleri için dünyanın en dostane yargı bölgelerinden biri haline getirmeyi amaçlayan politikalar benimsemiştir. Bu doğrultuda, Marshall Adaları Cumhuriyeti 2018 yılının şubat ayında “Egemen Para Biriminin İlanı ve Çıkarılması Yasası” ile blok zincir teknolojisine dayanan dijital merkezi olmayan bir para birimi ilan etmiştir (Asia Pacific Group on Money Laundering [APG], 2024, s. 41; International Monetary Fund [IMF], 2018, s. 7). Buradaki “egemen” kavramı, Maliye Bakanlığı tarafından çıkarılan ve Marshall Adaları Cumhuriyeti’nin yasal ihalesi niteliğinde olmak üzere blok zincir teknolojisine dayalı dijital merkezi olmayan bir para birimi anlamına gelmektedir. Aynı zamanda dünyanın en büyük kripto para borsası olan Binance’in Japonya’daki yasal düzenlemeler nedeniyle Malta’da bir ofis açmaya karar vermesi adada blok zincir alanında dikkat çekici bir büyüme yaşandığını göstermektedir (Pollock, 2018).

Hem Malta hem de İsviçre blok zincir projeleri için en açık ve en cazip ortamı yaratmaya çalışırken teknolojinin potansiyelini fark eden başka ülkelerde vardır. Diğerlerinin yanı sıra Cayman Adaları, blok zincir teknolojisi yatırımcılarına yönelik özel bir ekonomik bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Cayman Adası’nda yer alan Cayman Tech City, özel ekonomik bölgenin teknoloji ile ilgili kuruluşlara hitap eden yakın zamanda markalaşmış şubesi konumunda bulunmaktadır. Cayman Maliye CEO’su Jude Scott’a göre, Cayman Tech

City kiracılarının yaklaşık %25'i blok zincir şirketlerinden oluşmaktadır. Cayman'ın basit düzenlemeleri ve şirketler için vergi dostu olarak bilinmesi onu cazip hale getirmektedir. Aynı zamanda Cayman Tech City, buradaki yetkililerce girişimcilere gerekli tüm lisans ve izinleri almalarında yardımcı olunması ve başvurudan sonraki dört ila altı hafta içinde bölgede iş yapmaya hazır hale gelmesi sonucunda blok zincir yatırımcıları için önemli bir yer haline gelmektedir (Silva, 2018).

Vergiden kaçınma ve vergi kaçırmanın kolaylaştırıcıları olarak vergi cennetlerinin geleneksel rolüne karşı gelişmiş ekonomilerin giderek daha başarılı bir şekilde mücadele etmesi gerekmektedir. Son yıllarda gelişmiş ekonomiler, vergi cennetlerinin neden olduğu zararları ortadan kaldırmak için çok sayıda kanun çıkarmış ve çok sayıda uluslararası girişimde bulunmuştur. Örneğin 2010 yılında ABD, Yabancı Hesaplar Vergi Uyum Kanunu¹'nu (Foreign Accounts Tax Compliance Act (FATC)) kabul ederek bazı finans kuruluşlarını hesap sahipleri hakkında vergi idaresine bilgi vermeye yöneltmiştir. Bu çerçevede Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) tarafından, hükümetler arasında vergi mükellefi bilgilerinin otomatik değişimine yönelik uluslararası bir standart içeren "Ortak Raporlama Standartları'nı (Common Reporting Standards (CRS)) geliştirmek üzere kabul edilmiştir (OECD, 2017, s. 9-21). Avrupa Birliği de son birkaç yıl içinde üye ülkeler arasında vergi mükellefi bilgilerinin otomatik değişimini kolaylaştırmak için çeşitli tedbirler almıştır. Bu önlemler daha çok vergi kaçırıcılar hakkında bilgi toplayabilecek konumda olan aracılara, diğer bir deyişle vergi cenneti hükümetlerini ve finans kurumlarını hedef almaktadır. Bu bağlamda blok zincir teknolojisinin yükselişi, vergi kayıp ve kaçığı ile vergi cennetleri için önem arz etmektedir. Bunun nedeni, blok zincirin özünde mülkiyet ve devir işlemlerini belgeleyen ancak işlem yapan tarafların kimliklerini birbirlerine tanıtmalarını gerektirmeyen merkezi olmayan bir defter olmasından kaynaklanmaktadır (Marian, 2020, s. 775).

Sonuç olarak, blok zincir teknolojisi makul bir düzenleme sunma konusunda vergi cennetlerinin bir alternatifi olabilir. Vergi cennetleri geleneksel olarak merkezi otoritenin bu tür bir ortamı yetkilendirmesine dayanan esnek bir düzenleyici ortam sağlamaktayken, blok zincir kendi düzenleyici kurallarını oluşturabilir dolayısıyla bu durumda merkezi bir taraf vasıtasıyla yaptırım uygulanmaya olan ihtiyacı ortadan kaldırabilir. Her ne kadar düzenlemeler blok zincir alanında zaman geçirmiş olanlar tarafından genellikle hoş karşılanmasa da teknolojinin evriminin gerekli bir parçasıdır. Dolayısıyla blok zincir

¹ Foreign Accounts Tax Compliance Act, IRC. 1471–74.

teknolojisinin önemli hususlarını değerlendirebilmek için eşgüdümlü uluslararası düzenleyici politikaların hızla geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tür bir koordinasyon, bir yandan blok zincir tabanlı uygulamaların faydalarını korurken, diğer yandan da kontrolsüz bir düzenleme yarışını önlemek için gerekli olmaktadır (Marian, 2020, s. 771).

2.4.2. Ülke Örnekleri

Blok zincir, merkezi olmayan, kamuya açık ve herkes tarafından erişilebilir yapısı ile ülkeler tarafından yapılan düzenlemelere ve çalışmalara açık konumda olan bir teknolojidir (Blockchain Türkiye, 2019, s. 10). Kripto para birimleri ve blok zincir teknolojisi, finansal işlemleri olduğundan daha fazla gizleyebilme ve vergi kaçakçılığı ile kara para aklamayı kolaylaştırabilme potansiyeline sahiptir. Kimi vergi cennetleri, hızla gelişen bu ortamda yasal güvence ve yenilikçi finansal hizmetler sunarak dijital işletmeleri ve yatırımcıları çekme çabalarının bir parçası olarak kripto para birimlerini ve blok zincir teknolojisini benimsemiştir (Shestak vd., 2021, s. 2). Başka bir deyişle blok zincir teknolojisi sahip olduğu potansiyel ile ülkeleri cezbetmektedir. Dolayısıyla birçok ülke blok zinciri denemekte ve kullanmaktadır. Bu ülkelere bakacak olursa örneğin **Malta**, dünyada kripto para birimlerini ve diğer blok zincir uygulamalarını destekleyen düzenleyici kanunu kabul eden ilk ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu düzenlemeyle birlikte Malta “ilk blok zincir adası” olarak anılmaktadır (Sanka vd., 2021, s. 191).

Blok zincir devrimine öncülük eden bir diğer ülke de **Avustralya**’dır. Blok zincir yeniliğine ev sahipliği yapan bu ülke, “Avustralya Dijital Para Birimi Ticaret Birliği (ADCCA) ve Avustralya Blok Zincir Birliği (ABA)” olmak üzere gelişen topluluklara sahiptir. Aynı zamanda Avustralya Menkul Kıymetler Borsası (ASX), blok zincir teknolojisini benimsemiştir. Bununla birlikte, Avustralya son dönemde Bitcoin kullanılarak gerçekleştirilen işlemler üzerinden almış olduğu vergiyi kaldırmıştır (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 72).

Singapur hükümeti, bankaları fatura dolandırıcılığına karşı güvence altına almak için blok zincir teknolojisini uygulamaktadır. Bu kapsamda ticari faturaları kaydedecek ve bankalar arasında mükerrer faturalar için uyarılar gönderecek dijital bir defter kullanmaktadır. Dolayısıyla bu, bankaların sahte faturalar için müşterilerine borç vermelerini önleyecektir (Govinsider, 2016). Singapur’da Dubai gibi “akıllı ulus” kavramının kendi versiyonunu yaratma yolunda adım adım ilerlemektedir. Sağlık hizmetleri, finansal teknoloji, eğitim,

otonom araçlar ve toplu taşıma gibi alanlarda yeni teknolojilerin benimsenmesini hızlandırmak amacıyla mevzuat çıkarma hazırlıkları yapmakla beraber altyapı yatırımlarını da yapmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 73).

Gürcistan ise arazilerin tapularını Bitcoin blok zincir üzerinde tutan ilk hükümet olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitfury, blok zincir teknolojisini kullanarak kamu tapu sicilini oluşturmak için 2016'dan beri Gürcistan hükümetiyle birlikte çalışmaktadır. Dolayısıyla ilk kez bir ulusal hükümet, resmi işlemleri güvence altına almak ve doğrulamak açısından Bitcoin blok zincirini kullanmıştır (Shin, 2017).

Beklendiği üzere blok zincir teknolojisinin geliştirilmesi için en büyük piyasa **ABD** olarak görülmektedir. Ancak bu teknoloji ile ilgili daha az düzenleyici sınırlamalar ve eski sistem kısıtlamalarına sahip yargı bölgeleri, ABD'nin blok zincir teknolojisine karşı başlangıçta kazandığı ilginin giderek azalmasına neden olmuştur (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 74). Blok zincir teknolojisinin ABD'de; devlet arşivinin kayıt altına alınmasında, tapu sicil kayıtlarında ve sağlık hizmetleri alanlarında yer bulması beklenmektedir (Sanka vd., 2021, s. 192).

Birleşik Krallık, blok zincir girişim faaliyetlerinin %16,7'sine ev sahipliği yapmaktadır. Ülkenin finans teknolojisi oldukça canlı ve rekabetçidir. Konferansların sonucunda düzenlenmesine karar verilen Londra Blok Zincir Haftası, hükümetin girişimlerine odaklanmaktadır. Aynı zamanda hükümet yeni kimlik yönetim modellerine öncelik vermektedir (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 72). Eylül 2017'de Birleşik Krallık Hükümeti, elektrik şebekesi dengelemesinde blok zincir çözümünü denemesi için bir startup şirketi olan Electron ile sözleşme imzalamıştır. Ocak 2018'de Japon dev enerji şirketi (TEPCO) enerji sektöründe blok zincir kullanmak için Electron'a yatırım yapmıştır (De, 2021).

BAE, Dubai şehrini blok zincir teknolojisi açısından lider bir şehir haline getirmek amacıyla Dubai Blok Zincir Stratejisi'ni 2016 yılında başlatmıştır. Bu kapsamda Dubai'yi verimlilik açısından lider bir şehir haline getirebilmek için basit ve güvenli işlemlere olanak tanıyabilecek teknolojik yenilikleri araştırmış ve değerlendirmiştir (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 72). Aynı zamanda daha kapsamlı olarak 2018 yılında BAE tüm ülke için blok zincir teknolojisi stratejisini başlatmıştır. Bu strateji BAE hükümet işlemlerinin %50'sinin blok zincire dayanacağını planlamıştır. Bu doğrultuda kripto para birimleri gibi kripto varlıkların kullanımına yönelik çeşitli düzenlemeler de gerçekleştirilmiştir (Freeman Law, 2022).

Blok zincir teknolojisi ekosistemi için önemli olan bir diğer ülke **Kanada**'dır. Dünya çapındaki en büyük iş geliştirme merkezlerinin bir kısmı Toronto'da bulunmaktadır. Finans sektörünü yeniden tasarlamak amacıyla çalışan beş yenilikçi banka vardır. Aralarında Nuco/Aion, Paycase, Tendermint/Cosmos ve Decentral'ın da bulunduğu dünyanın en umut verici girişimlerinden bazılarının kökleri Toronto bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca Vanbex, Axiom Zen ve Frontier Foundry'nin temelleri ise Vancouver'da atılmıştır. Sahip olduğu serin iklimi ve enerji kaynaklarıyla Quebec, kripto para madenciliği faaliyetleri için tercih edilen bir yer olma yolunda hızla ilerlemektedir. Yerel hükümetten güçlü bir destek gören Kanada Merkez Bankası bu konuda yenilikçi bir politika yürütmektedir. Küresel düşünce liderliğinin merkezi olarak adlandırılan Toronto'da ise Blok Zincir Araştırma Enstitüsü'nün varlığı öne çıkmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 72).

Bir diğer ülke örneği olarak **Rusya** (Moskova hükümeti) ağustos 2018'de, Moskova'daki çiftçi pazarı için 20.000'den fazla çiftçinin ticaret arazisi tahsis başvurularını yüklemek için Ethereum blok zincirini kullanma planını açıklamıştır. Bu rekabetçi uygulama şeffaflık ve güvenilirlik sağlamak amacıyla yapılmıştır. Aralık 2017'nin başlarında Rusya hükümeti, vatandaşların şehir yönetimi ve kentsel dönüşümle ilgili kararların alınmasına katılmalarını sağlamak için aktif vatandaş e-oylama platformuna blok zinciri entegre etmiştir. Rusya ayrıca sağlık hizmetleri için de blok zincir kullanımını yaygınlaştırmayı planlamıştır (Custodio, 2018).

İsveç, Tapu Sicili için blok zincir teknolojisinin kullanımına yönelik bir proje önermiştir. Bu öneri, bir tapu işleminin sonuçlandırılması için ihtiyaç duyulan sürenin dört aydan daha kısa bir zamanda yapılmasını sağlamıştır. Avrupa şehirleri arasında dijital bir lider olan Stockholm, önde gelen bir finansal teknoloji merkezi olarak Londra'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır. Dünyanın önde gelen Bitcoin madencileri, veri çiftliklerini doğal yollarla soğutmak için İsveç'in kuzey ikliminden faydalanmakta gecikmemiştir. Ülkenin kuzeyindeki bir belediye olan Boden, kendisini "Düğüm Kutbu" olarak adlandırmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 73).

İsviçre (Zürih ve Zug), dünyadaki en âdem-i merkeziyetçi siyasi sistemlerden birine sahiptir. Bu nedenle ülkede ademi merkeziyetçi defter sistemi bir fırsat olarak görülmektedir. Kripto Vadisi adıyla anılan Zug, Bitcoin portföy yöneticilerini, brokerleri ve döviz borsalarını kendine çeken bir dijital para merkezi konumuna gelmiştir. Bu gelişmede İsviçre'nin geleneksel finansal gizliliği ve düşük kurumlar vergisi oranlarının da etkisinin var olduğu düşünülmektedir. Zug'un lider kadrosu, sektör temsilcilerinin varlığındaki artışa karşılık

olarak teknolojiyi benimsemeyi tercih etmiştir. Artık faturalar Bitcoin ile ödenebilmekte ve bir Bitcoin borsası olan Bitcoin Suisse, dijital para arzları aracılığıyla 635 milyon dolar kadar para toplanmasında etkili olmuştur (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 74).

Estonya, Baltık'ın küçük bir ülkesi olmasına rağmen blok zincir dönüşümünde inanılmaz bir girişim göstermiştir. Kimlikler de dâhil olmak üzere Estonya'nın neredeyse tüm kamu hizmetleri dijitalleştirilmiştir. Ayrıca Estonya'nın verileri merkezi olmayan bir yapıdadır. Bu nedenle büyük bir güvenlik ihlâli yaşanması pek muhtemel görünmemektedir. Blok zincir teknolojisi; sağlık, eğitim ve finans konularında bilgileri kolayca denetlenebilir hale getirmektedir. Aynı zamanda bu teknoloji mağdur vatandaşların henüz yerlerine dâhi ulaşamamış acil yardım personelinin, hastaların tıbbi kayıtlarına erişerek hastane girişlerini önceden yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla bu yönüyle kendi meşruiyetini ortaya koymaktadır. Dahası Estonya, uzakta yer alan elektronik sakinler (e-sakinler) için akıllı sözleşmeler çıkarabilmektedir (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 73).

Çin'in gerek blok zincir gerekse dijital para birimleriyle olan ilişkisini tanımlamak için kullanılabilecek en iyi kelime “karmaşık” kelimesi olabilir. Çin, liderlerinin yararlı gördüğü bir teknolojiyi yürürlüğe koymak veya potansiyel bir tehdit olarak gördüklerini sıkı bir şekilde kontrol etmek amacıyla kaynakları harekete geçirme gücüne ve yeteneğine sahiptir. Ancak hükümetin, kitlesel dijital para arzını, kripto para borsalarını ve Bitcoin madenciliğini yasaklama girişimleri yalnızca girişimciliği durdurmaya yönelik olmaktadır. Bununla birlikte ülke, ekonomik büyümeyi hızlandırmak amacıyla blok zincir tabanlı bir itibari para birimine ve diğer yeniliklere kapıyı açık tutmaktadır (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 73).

Dijital devrimi beraberinde getiren blok zincir teknolojisi alanında çeşitli gelişmelerle karşılaşmaktadır. Bu bağlamda Tablo 6 dünya genelinde çeşitli ülkelerdeki blok zincir uygulama alanlarını özetlemektedir.

Tablo 6. Blok Zincir Teknolojisinin Çeşitli Ülkelerde Benimsenmesi

<i>Ülkeler</i>	<i>Blok Zincir Kullanımı</i>
Gürcistan	Tapu sicili
BAE	Banka ödemeleri, hissedar vekaletleri, kimlik
Estonya	Sağlık hizmetleri yönetimi, e-kimlik
Suudi Arabistan	Dâhili banka ödemeleri
ABD	Devlet arşivi, hisse senedi ticareti, doğum ve tapu sicili, oy kullanımı, sağlık hizmetleri

Birleşik Krallık	Hibe dağıtımı, tapu sicili, enerji sektörü
İsveç	Emlak işlemleri, tapu sicili
Şili	Enerji veri takibi
Endonezya	Kimlik yönetimi
Japonya	Kimlik yönetimi, oylama
İsviçre	Kimlik yönetimi
Hindistan	Tapu sicili, eğitim sertifikası
Güney Kore	Bankacılık sektörü, oylama
Rusya	Arazi tahsisi, e-oylama, güvenli ticaret, sağlık hizmetleri
Kenya	Eğitim sertifikası
Avustralya	Menkul kıymetler borsası, oylama
Singapur	Ticaret fatura dolandırıcılığına karşı koruma
Meksika	Kamu sözleşmeleri ve ihaleleri
Gana	Gayrimenkul mülkiyeti
Kanada	Hükümet fonu
Malta	Kripto para birimi,
Çin	Dijital para birimi, blok zincir hizmet ağı

Kaynak: Sanka vd., 2021, s. 192

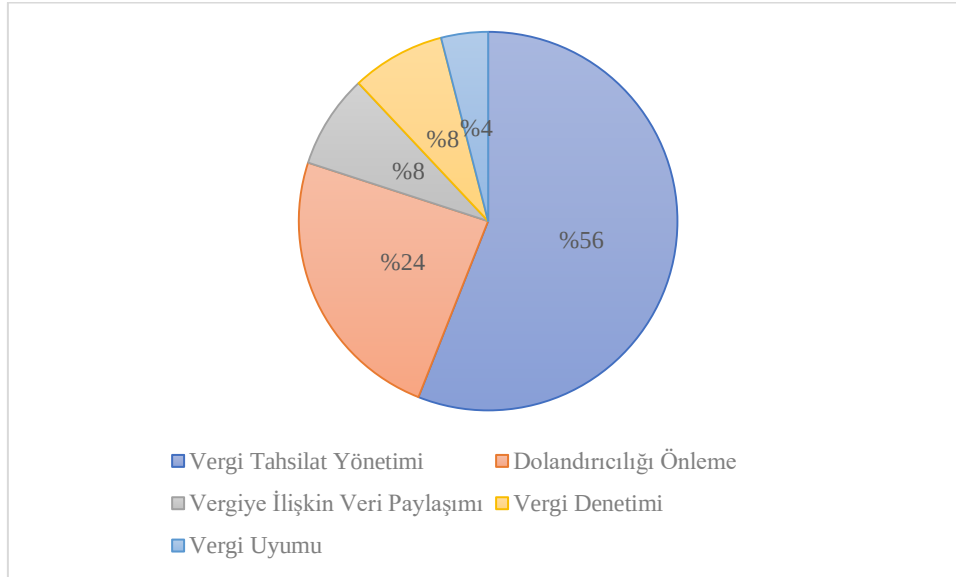
Blok zincir teknolojisinin çeşitli ülkelerdeki uygulama alanlarına bakıldığında, bu ülkeler blok zincir devrimine öncülük ederek önümüzdeki yıllar içerisinde yeni bir ekonomi ekosisteminin oluşmasına neden olabilecektir (Tapscott ve Tapscott, 2022, s. 72). Aynı zamanda sunmuş olduğu; veri güvenliği, maliyet tasarrufu, hız, şeffaflık ve merkezi otoritelerin ortadan kaldırılması gibi özellikleri bu potansiyel yaratacak teknolojinin gün geçtikçe hayatımızda daha önemli bir yer alacağının temel göstergesidir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN VERGİLEME ALANINDAKİ ROLÜ

Blok zincir teknolojisini vergi sistemleri içerisinde belirli alanlara entegre etmeye çalışan ülkelere bakıldığında, vergi sistemlerinde yer alan bir vergi türüne ilişkin tamamlanmış bir entegrasyonun olmadığı görülmektedir. Ancak bazı ülkelerde bu konuya ilişkin araştırmalar devam etmekte ve deneysel platformlar oluşturulmaktadır. Bu kapsamda blok zincir teknolojisi ile vergilendirmeyi ilişkilendiren çalışmaların yoğunluğuna ilişkin dağılımları Grafik 1’de gösterilmektedir.

Grafik 1. Blok Zincir Teknolojisinin Vergilendirmeye İlişkilendirildiği Çalışma Alanları

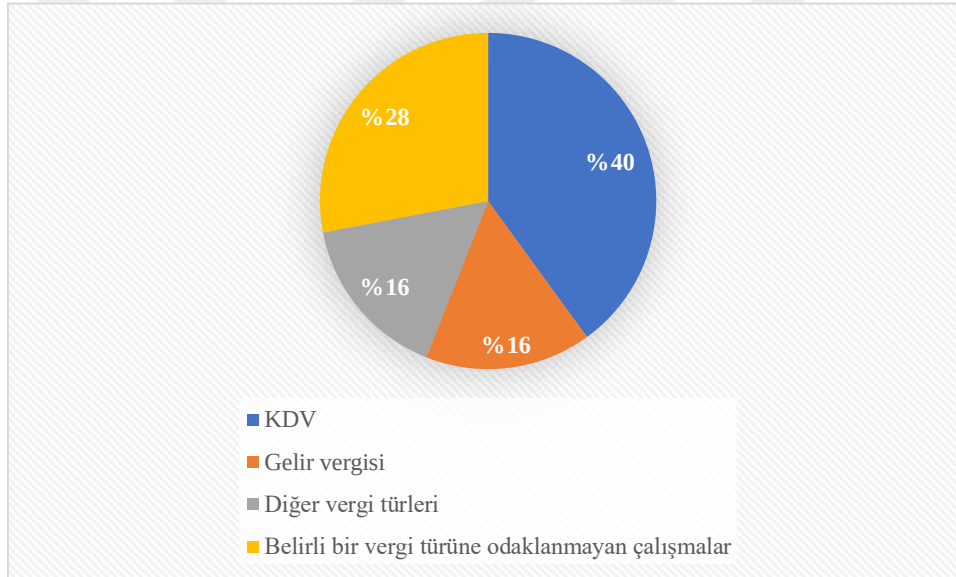


Kaynak: Dourado vd., 2022, s. 124

Blok zincir teknolojisinin vergilendirme alanındaki kullanımına yönelik yapılan çalışmaların dağılımına bakıldığında; %56’sının vergi tahsilat yönetimi, %24’ünün dolandırıcılığı önleme, %8’inin vergi denetimi ve %8’inin vergisel veri paylaşımı olmakla beraber

%4'ünün vergi uyumu ile ilişkilendirildiği görülmektedir (Dourado vd., 2022, s. 124). Söz konusu çalışmalara bakıldığında büyük bir çoğunluğunun (%56) vergi tahsilatına ilişkin olduğu gözlemlenmektedir. Diğer bir ifadeyle blok zincir teknolojisinin vergilendirmede özellikle tahsilat aşamasında kullanımına dikkat çekilmektedir. Bununla birlikte ilgili teknolojinin vergilendirmede dolandırıcılığın önlenmesi konusunda da çalışmaların yoğunlaştığı göze çarpmaktadır. Son olarak ise vergisel veri paylaşımı ile vergi denetim faaliyetlerinde de ilgili teknolojinin kullanımına işaret edildiği görülmektedir. Blok zincir teknolojisinin ilişkilendirildiği vergi türleri açısından konu ele alındığında Grafik 2'de yer alan oranlar karşımıza çıkmaktadır.

Grafik 2. Blok Zincir Teknolojisinin İlişkilendirildiği Vergi Türleri



Kaynak: Dourado vd., 2022, s. 125

Çalışmalarda referans alınan vergi türleri açısından konuya bakıldığında, %40 ile katma değer vergisi (KDV) üzerine odaklanan çalışmaların büyük bir pay aldığı görülmektedir. Bunu takiben gelir vergisi %16 ve sınır ötesi işlemlerle (gümrük vergisi ve damga vergisi) ilgili vergiler “diğer” grup olarak adlandırılmış olup %16’lık bir paya sahiptirler. Diğer bazı çalışmaların ise belirli bir vergi türüne odaklanmadığı gözlemlenmektedir (Dourado vd., 2022, s. 125).

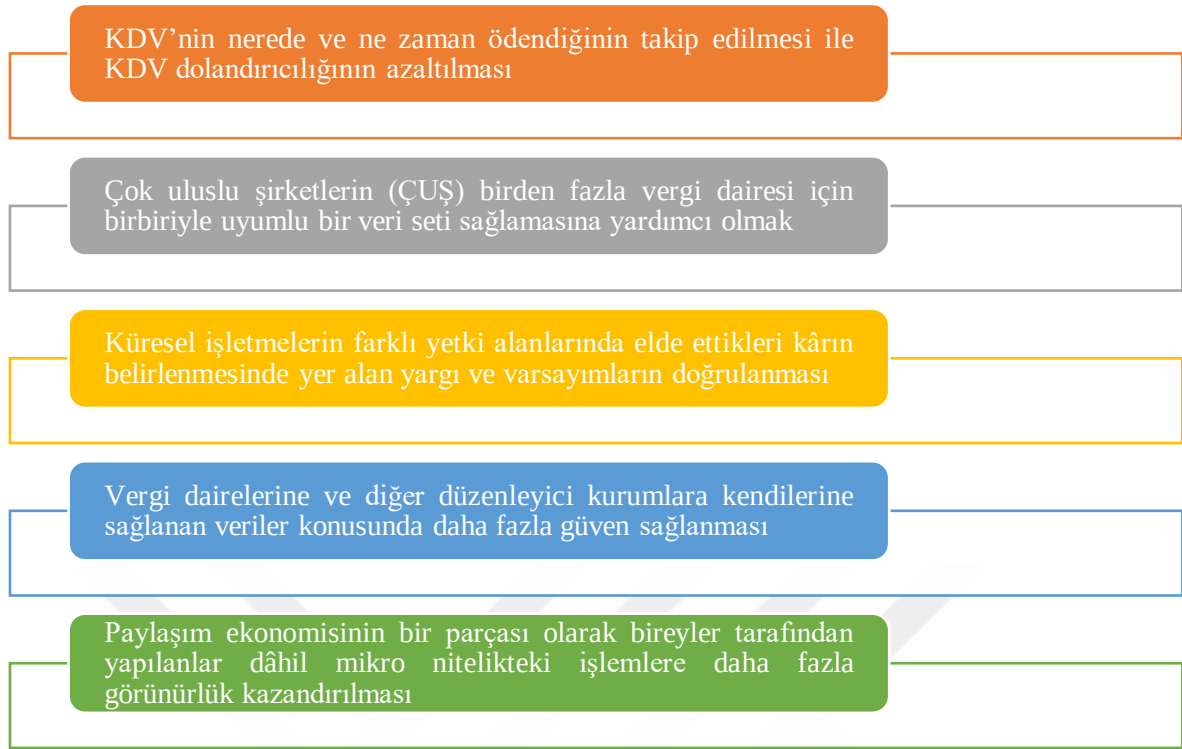
Çalışmanın bu bölümünde öncelikle blok zincir teknolojisinin vergileme alanındaki kullanımına değinilmiş olup, sonrasında bu teknolojinin vergi türleri itibarıyla dünyadaki

uygulama şekillerine yer verilmiştir. Akabinde ise Türkiye’de blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımına ilişkin çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur.

3.1. Vergilemede Blok Zincir Teknolojisinin Yeri

Blok zincir teknolojisi merkezi otoritelerin yerini alarak ve işlemlerin ağdaki katılımcılar arasında doğrudan gerçekleşmesini sağlayarak, merkeziyetsiz bir sistem temelinde geliştirilmiştir. Blok zincir ile ilgili teknik dokümanın yayımlanmasının ardından geçen süreler içinde önemli teknolojik ve ekonomik gelişmeler yaşanmıştır. Blok zincir teknolojisi sayesinde maddi ve maddi olmayan varlıklara ait her türlü değer, hak ve borç ilişkisi tokenler aracılığıyla temsil edilebilir ve bunların ticareti ile değişimi potansiyel olarak kolaylaştırılabilir (Federal Ministry of Economics and Energy [BMWi] ve Federal Ministry of Finance [BMF], 2019, s. 3).

Hâlihazırda mevcut vergi ve gümrük sistemlerinin modernize edilmesi için dikkate alınması gereken önemli teknolojik yenilikler bulunmaktadır. Blok zincir teknolojisi, ekonomi ve toplumun dijital dönüşümünün en çok öne çıkan yeniliklerinden biridir. Âdem-i merkeziyetçilik; güvenilirlik ve sahteciliği önleme gibi özellikleriyle yenilikçi uygulamalar ve yeni iş birliği biçimleri için geniş bir alan açmaktadır (Gries, 2022, s. 38). Blok zincir teknolojisinin sahip olduğu şeffaflık, kontrol, güvenlik ve gerçek zamanlı bilgi paylaşımı gibi özellikleri, bu teknolojiyi vergi uygulamaları için etkili bir araç olarak karşımıza çıkarmaktadır. Blok zincir teknolojisi, vergi sistemi için tüm sorunların çözümü olmasa da idari yükü azaltmak ve vergiyi daha düşük bir maliyetle tahsil etmek için birçok alanda uygulanabilmektedir. Bununla birlikte vergi açığını azaltma konusunda da yardımcı olabilecek önemli bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (PwC, 2016, s. 2). Şekil 17’de ise blok zincir teknolojisinin vergilemedeki çeşitli kazanımları yer almaktadır.



Şekil 17. Blok Zincir Teknolojisinin Vergilemedeki Çeşitli Kazanımları (PwC, 2016, s. 1)

Her ne kadar hükümetler kâr amacı gütmeseler de halka sundukları hizmetlerin maliyetlerini karşılamak için çeşitli finansman kaynaklarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle gelirlerin toplanmasının sağlanması, hükümetlerin işleyişi açısından hayati önem taşımaktadır. Çünkü bu gelirler devletin temel gelir kaynağıdır. Bu gelirleri tahsil etmek için devlet kurumları bazen büyük çabalara girişmekte, bu da ek maliyetler doğurarak süreci verimsiz hale getirmektedir. Blok zincirin vergileme sürecinde kullanılması, işlemleri daha verimli ve etkili hale getirebilir ve devlet kurumlarının kendilerine ödenmesi gereken gelirleri zamanında ve eksiksiz tahsil etmesini sağlayabilir (Nemade vd., 2019).

PwC (2016) tarafından hazırlanan “How Blockchain Technology Could Improve the Tax System” adlı Rapor’da blok zincir teknolojisinin vergileme alanındaki avantajlarından bahsedilmektedir. Söz konusu bu Rapor’da, blok zincir teknolojiyle KDV’nin nerede ve ne zaman ödendiği tespit edilerek dolandırıcılığın ciddi ölçüde azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Blok zincir tabanlı vergi sistemi aynı zamanda idarelere ve kanun koyuculara güvenilir veriler sunabilmektedir. Blok zincirde depolanan verilerin şeffaflığının yanı sıra, ÇUŞ’ların farklı ülkelerdeki vergi idareleri için birbiriyle tutarlı bir veri seti sağlamaları için gerekmektedir (PwC, 2016, s. 1-4).

Vergilemede bilgi şeffaflığı ve veri değişmezliği büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin bu unsurlara sahip olması nedeniyle vergileme alanında kullanımı ön plana çıkmaktadır. Vergilemenin belirli alanları ise taraflar arasındaki güvensizlik nedeniyle mutabakat mekanizmasını da gerektirmektedir. Vergilemenin; veri yedekliliği, bilgi şeffaflığı ve veri değişmezliğine ihtiyaç duyulan vergi türlerinden biri gelir vergisi olarak karşımıza çıkabilmektedir. Vergileme süreci, vergiye ilişkin bilgilerin toplanması ve yönetilmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Temel hedeflerden biri mükellefler ile vergi otoriteleri arasındaki bilgi asimetrisini azaltmaktır. Vergiye ilişkin bilgiler, mükelleflerin gerçekleştirdiği çeşitli işlemlerden kaynaklansa da devletin doğrudan erişimine her zaman açık değildir. Ancak vergi sisteminin uygulanabilmesi için devletin bu bilgileri edinmesi ve işlemesi gerekmektedir. Bu nedenle, mükelleflerin vergiye ilişkin bilgilerini farklı yollarla vergi otoriteleriyle paylaşmaları zorunludur. Bu bilgiler bazen mükellefler tarafından doğrudan beyan edilir (örneğin, vergi beyanları ve bilgi formları ile). Ancak çoğu durumda üçüncü taraflar raporlamaktadır. Bilgi asimetrisini önlemek için vergi uyumunun, şeffaflık ve veri değişmezliği çerçevesinde sağlanması gerekmektedir (Kim, 2022, s. 246).

Âdem-i merkeziyetçi dağıtık defter teknolojisi ile işlemlerin güvenilirliğinin sağlanması, tarafların yükümlülüklerinin akıllı sözleşmeler aracılığıyla belirlenmesi, işlemlerin daha düşük maliyetle ve şeffaf bir şekilde gerçekleştirilmesi ve aracıya duyulan ihtiyacın ortadan kalkması, özellikle vergilemede blok zincir teknolojisinden faydalanma gerekliliğini doğurmuştur. Bu kapsamda blok zincir teknolojisi; ödeme işlemlerinin, para transferlerinin ve diğer işlemlerin kısa vadede ve güvenli bir şekilde tamamlanması amacıyla kullanılmaktadır. Vergileme süreçlerinin doğru bir şekilde yürütülmesi; vergi idaresi üzerindeki yük ve sorumluluğun artması ile beraber vergileme işlemlerinin ve ödemelerinin zamanında ve hatasız gerçekleştirilmesi gerekliliğini gündeme getirmektedir. Bu kapsamda blok zincir teknolojisi ve akıllı sözleşmelerin vergileme alanında kullanımına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (Nur, 2023, s. 504).

Blok zincir teknolojisinin sahip olduğu özgün özellikler sayesinde vergileme alanında kullanımı büyük önem arz edebilir. Bu teknolojinin her vergi türünde kullanımı söz konusu olmasa da belli başlı vergi türlerinde kullanım potansiyeli karşımıza çıkabilecektir. Bu bağlamda blok zincir teknolojisinin entegre edilebileceği vergi türleri aşağıda değerlendirilmiştir.

3.1.1. Katma Değer Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması

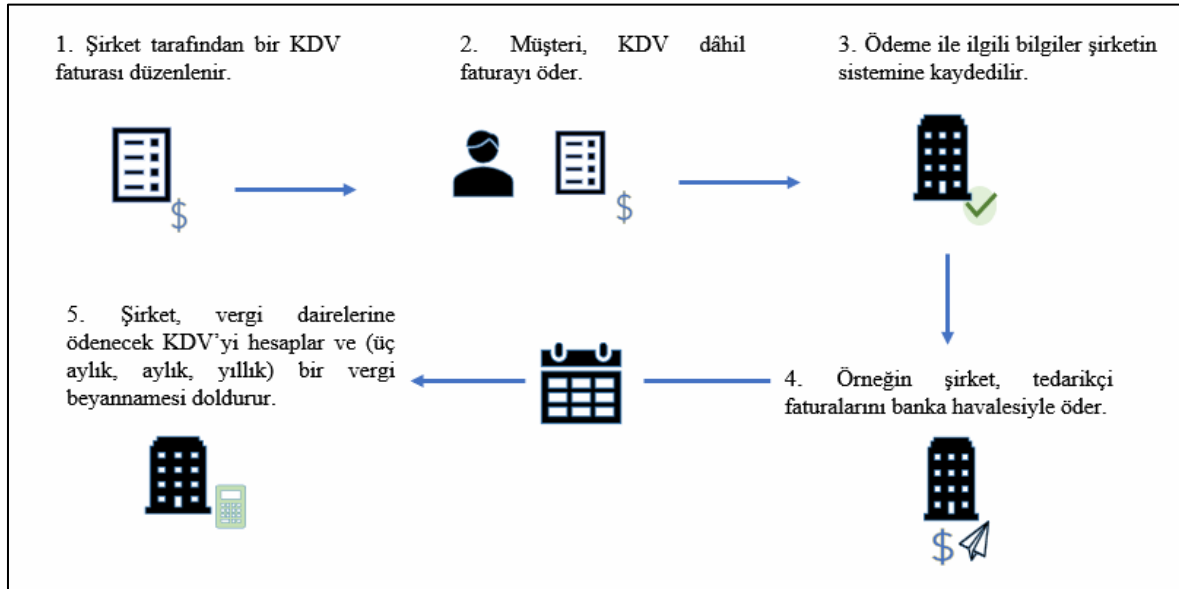
Devlet gelirlerinin en büyük kaynaklarından biri olan vergi, meydana gelebilecek her türlü gelişmeye uyum sağlayabilmelidir. Endüstri 4.0 çağında dikkate alınması gereken vergi türü ise genellikle mal ve hizmet vergisi veya KDV olarak adlandırılan tüketim vergisidir. Bu vergi türü, toplum ve iş dünyası faaliyetlerinden tahsil edildiği için devlet gelirlerine önemli bir katkı sağlamaktadır (Setyowati vd., 2020, s. 1). KDV’de üretim, dağıtım ve hizmet sektörleri her el değiştirme aşamasında vergilendirilir ve işletme girdileri için oluşan vergiler, hazineye ödenen vergilerden düşülür. Böylece, üretim ve dağıtım sürecinin her aşamasında ürüne eklenen katma değer üzerinden vergi alınmaktadır (Öncel vd., 2024, s. 513). KDV’de uygulanan indirim mekanizmasıyla, satıcı teslim ettiği mal ve hizmetler dolayısıyla üstlendiği KDV’yi alıcıya yansıtabilmekte ve indirilecek KDV’yi mahsup edebilmektedir. Blok zincir teknolojisinin kullanılmasıyla, bu manuel sürecin otomatikleştirilmesi ve müşterilerin yalnızca satın aldıkları mal veya hizmetlerin bedelini ödemesi mümkün hale gelmektedir. Aynı süreçte, satıcılar da mal veya hizmet satın aldıkları tedarikçilere ödemelerini gerçekleştirebilir. Vergi mükelleflerinin KDV işlemlerinin blok zincir tabanlı dijital defterlerde kaydedilmesi ve ödemelerin akıllı sözleşmeler aracılığıyla yapılması durumunda, işleme ilişkin KDV otomatik olarak hesaplanarak doğrudan vergi idaresine gönderilmektedir (Ölçer, 2019, s. 289).

Hâlihazırda KDV sistemi; verginin ödenmesi, tahsil edilmesi ve devlete aktarılması esasına dayanmaktadır. Bu da büyük ölçüde verginin havale edilmesi için iş dünyasına bağımlılık anlamına gelmektedir. İşlemlerin âdem-i merkezîyetçi bir deftere kaydedilmesi ve KDV’yi doğru bir şekilde hesaplayan akıllı sözleşme ile KDV’nin ödenmesi halinde, vergi doğrudan vergi idaresine gönderilebilir, bu da işlem maliyetlerini önemli ölçüde azaltarak vergi kaçırma riskini düşürebilir (Frankowski vd., 2017, s. 13).

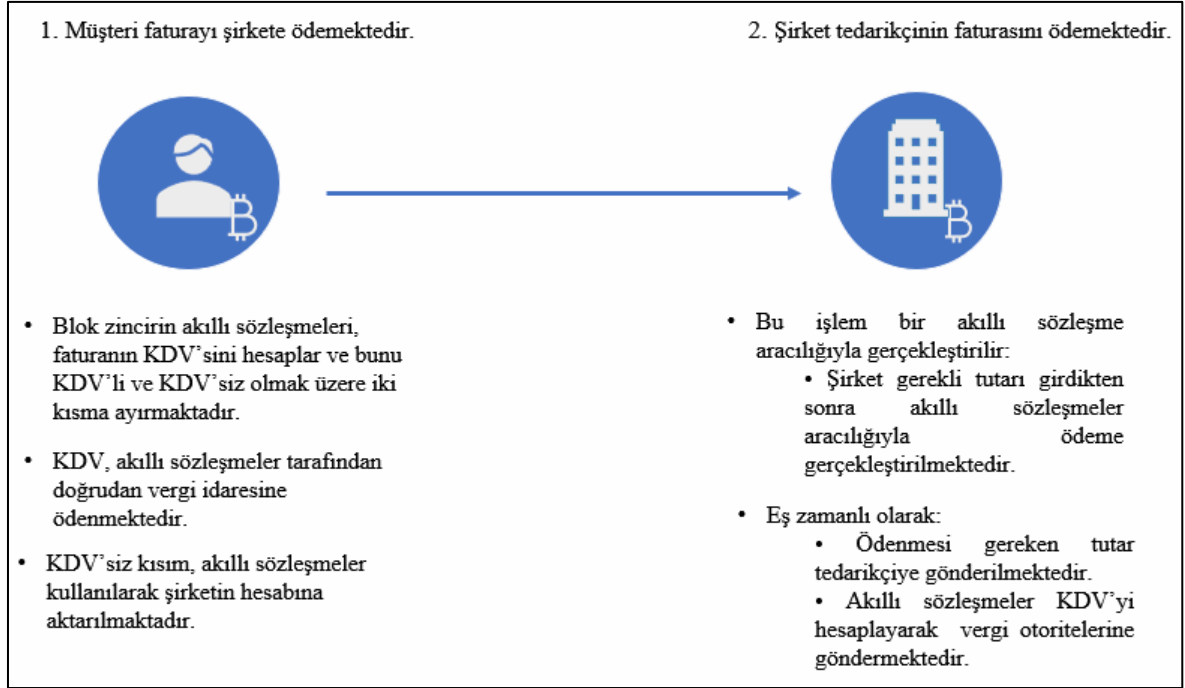
Blok zincirin KDV sisteminde uygulanması, finansal şeffaflığı etkili bir şekilde artırarak tedarik zincirinin farklı aşamalarında oluşan bilgi asimetrisi nedeniyle ortaya çıkabilecek KDV’nin eksik beyan edilmesi gibi usulsüzlükleri önleyebilir. Aynı zamanda blok zincir, çevrim içi pazar yerleri ve uluslararası platformlarda faaliyet gösteren satıcıların ve alıcıların gerçekleştirdiği işlemlerdeki KDV uyumunu artırmaya yardımcı olabilir (Cho vd., 2021, s. 305). Literatürde KDV için önerilen sistemlerin çoğu, vergi idaresinin merkezde olduğu kapalı bir blok zincir ağına dayanmaktadır. Yang vd., (2021) ile Nguyen vd., (2019b) vergi otoritelerinin; mükellef bilgilerini sunma, akıllı sözleşmeleri kontrol etme veya mükellefleri

bir blok zincir ağı üzerinden işletme yetkisine sahip olduklarını vurgulamaktadırlar (İnci, 2023, s. 160).

Wijaya vd., (2017) KDV kaçakçılığını önlemek amacıyla vergi sistemine bir kripto para birimi entegre edilmesini önermektedir. Bu doğrultuda eğer her iki taraf KDV mükellefi ise öncelikle itibari para ile değer yaratılmaktadır. Ardından bu değeri kripto para birimine dönüştürerek tarafların ödemeleri gereken vergiden düşebileceği vergi indirimi kripto para biçiminde oluşturulmaktadır. Ödenmesi gereken vergiden düşürülecek miktar blok zincir üzerinde, kripto para biçiminde oluşturulmuş bir vergi indirim hakkı olarak tanımlanmadan sistem fatura kesilmesine izin vermemektedir. Sistemin izin vermesiyle oluşturulan bu fatura başka bir KDV mükellefine sunulabilir. Özellikle Wijaya vd., (2017) tarafından önerilen KDV kripto paranın uygulanması, işletmeler arası işlemlerde KDV kaçakçılığıyla etkili bir şekilde mücadele edebilir. Ancak, tüketicinin KDV iadesi almadığı işletmeden-tüketicie işlemlerde pek fayda sağlamayacaktır. Bununla birlikte vergi yönetiminde blok zincir uygulamalarının hayata geçirilmesi, kapsamlı bir hazırlık süreci gerektirmektedir (Müller, 2020a, s. 3). Şekil 18 ve 19’da blok zincir olmayan bir KDV işleminin işleyiş sürecine ve blok zincir kullanılan bir KDV işleminin işleyiş sürecine yer verilmiştir.



Şekil 18. Blok Zincirin Kullanılmadığı KDV İşlem Süreci (Frankowski vd., 2017, s. 13)



Şekil 19. Blok Zincirin Kullanıldığı KDV İşlem Süreci (Frankowski vd., 2017, s. 13)

Günümüzde KDV, vergi idarelerinin en önemli itici gücü ve hükümet bütçelerine en büyük katkıyı sağlayan vergi geliridir. Bu nedenlerle, vergi otoriteleri daha fazla gelir elde etmek ve bütçe açığını azaltmak amacıyla daha etkili KDV tahsilat yolları aramaktadır (Atçı, 2019, s. 86; Kızıl, 2019). Brezilya, elektronik faturanın (e-fatura) zorunlu olduğu ve vergi yetkililerinin bu faturaları gerçek zamanlı olarak aldığı en modern çözümlere sahiptir. Macaristan da gerçek zamanlı raporlama çözümleri kullanmaktadır. KDV raporlama sistemine blok zincir teknolojisinin entegre edilmesi, vergi tahsilatını hem toplanan vergi miktarı hem de yanlış veya eksik beyan edilen vergilerin düzeltilmesiyle ilgili maliyetler açısından olumlu etkileyebilir (Cho vd., 2021, s. 302).

OECD'nin 38 üye devleti, 2005 yılında vergi idarelerine veri gönderme sürecini uygulamaya başlamıştır. Standart vergi denetim dosyası (SAF-T), işletmelerin dünya genelinde çeşitli muhasebe yükümlülükleriyle karşı karşıya kaldığı ve vergi idarelerinin bilgi alışverişi ile gerektiğinde ortak denetimler yoluyla iş birliğine daha fazla ihtiyaç duyduğu küreselleşmenin yarattığı sonuçlardan hareketle OECD tarafından geliştirilmiştir. SAF-T, bilgisayar destekli denetimlerin etkinliğini ve verimliliğini artırırken, işletmelerin bu verileri okunabilir bir formatta sunmak için ek kaynak ayırma ihtiyacını azaltarak uyum maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca denetçilerin, verilerin özelleştirilmiş denetim yazılımları kullanılarak test edilebilmesi için verilere okunması kolay bir formatta

erişilmesini sağlamaktadır (OECD, 2005, s. 26). SAF-T'nin temelinde; şirketlerin hükümetlere ödeme kayıtlarını, tedarikçi verilerini ve yazılım sağlayıcı faturalarını bildirebilmesi fikri yatmaktadır. Bu sistem, devlet vergi otoritelerinin blok zincir teknolojisine dayalı bir vergilendirme sistemi oluşturmaya da katkıda bulunmaktadır. Ana hedeflerden biri, vergi kaçakçılığını azaltmaktır. Avrupa'daki bazı ülkeler ise SAF-T sistemini hâlihazırda yürürlüğe koymuştur (Yayman, 2021, s. 146). Polonya Maliye Bakanlığı, OECD'nin SAF-T standardına dayalı elektronik JPK_VAT raporlama sistemini uygulamaktadır (Frankowski vd., 2017, s. 13). Polonya dışında, bu sistemi yürürlüğe koyan ülkeler arasında Portekiz, Fransa, Norveç, Lüksemburg ve Litvanya yer almaktadır (Yayman, 2021, s. 146).

KDV, Endonezya'nın devlet gelirleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Ancak KDV gelirinin tahsil edilme sürecinin hukuka uygun bir şekilde yapılabilmesi için çok yönlü kurumsal düzenlemeye gereksinim duyulmaktadır. Çünkü mevcut sistem devletten vergi kaçırmak isteyen mükelleflerin, devletin vergi gelirlerinde azaltıcı uygulamalara gitmesini önlemede yetersiz kalmaktadır. Blok zincir teknolojisi bu sürece entegre edilebilir. Dolayısıyla bu teknolojinin dağıtık defter yapısı, vergileme alanında karşımıza çıkmaktadır (Khan ve Syed, 2019, s. 38). Aynı zamanda kripto para, Endonezya KDV sistemine yönelik bir blok zincir tokeni (PAKO) üzerine kuruludur ve KDV ödemeleri ile indirimli vergi iadesinde kullanılabilir (Müller, 2020a, s. 3). Blok zincir teknolojisinde her bir düğüm, işlemin diğer tarafı aracılığıyla düzenlenen e-faturaları kolayca kontrol etmesine olanak tanımaktadır. Geleneksel sistemde, alıcı ve satıcı mükellefler tarafından düzenlenen e-faturayı doğrulamak zorundadır. Ancak, blok zincir tabanlı bir sistemde buna artık gerek kalmamaktadır. Öte yandan, Vergi Genel Müdürlüğü de satıcı mükellef tarafından düzenlenen e-faturayı doğrulamak zorundadır. Bunun nedeni, satıcı mükellef tarafından düzenlenen e-faturanın, blok zincir tabanlı sistemde bir hash fonksiyonu kullanılarak "Vergi Fatura Seri Numarası (e-Nofa) (Vergi Fatura Seri Numarası başvurusu yapılan çevrim içi platform)" ile bağlantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Hash fonksiyonu, kayıtlarda bulunmayan vergi faturası verilerinin kullanılarak gerçek işlemlerle uyuşmayan sahte e-fatura düzenlenmesini imkânsız hâle getirmektedir. Ayrıca, blok zincir teknolojisi e-fatura ve e-Nofa ile ilgili sıkça karşılaşılan sorunlara da çözüm sunabilmektedir. Bir e-fatura düzenlemeden önce mükellef, kayıtlı olduğu vergi dairesine doğrudan başvurarak bir e-Nofa talep etmek zorundadır. E-Nofa, KDV sisteminde gizli olmayan ve başkaları tarafından bilinmesi herhangi bir soruna yol açmayan bir veri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, çok

sayıda mükellefin aynı anda Vergi Genel Müdürlüğü sunucusuna erişmeye çalışması, sık sık hatalara neden olmaktadır. Bu tür aksaklıklar, mükelleflerin vergi yükümlülüklerini yerine getirmekte zorluk yaşamasına yol açmaktadır (Setyowati vd., 2020, s. 7).

Endonezya’da ilgi çekici blok zincir modelleri ve değerlendirmeleri bulunmaktadır ve bunlar ayrı olarak ele alınmıştır. Benzer şekilde, Çin Halk Cumhuriyeti’nde (ÇHC) blok zincir teknolojisinin olası uygulamaları hakkında geniş çaplı tartışmalar sürmektedir. ÇHC’de, KDV alanında blok zincir uygulaması ilk kez 2018 yılının ağustos ayında hayata geçirilmiştir. Bu uygulama, vergi idareleri tarafından geniş ölçekte mükelleflerin kullanımına sunulan, vergi hukukundaki ilk blok zincir uygulaması olma özelliğini taşımaktadır (Müller, 2020a, s. 1). Bu anlamda vergileme alanı için büyük önem arz etmektedir.

Aynı zamanda 2018 yılında, Çin Devlet Vergi İdaresi’ne bağlı Shenzhen Vergi Hizmeti ve Tencent şirketiyle ortak yürütülen bir proje kapsamında, ilk elektronik blok zincir faturası tanıtılmıştır (Tencent, 2018; Vălikangas, 2019, s. 200). ÇHC’nin en gelişmiş şehirlerinden biri olan Shenzhen; kamu yönetiminde, özellikle de vergi yönetiminde blok zincir teknolojisine öncülük ederek kullanmaya başlamıştır. Shenzhen’in büyük bir ekonomik merkez olması, yüksek ekonomik üretimi ve ticaret hacmi nedeniyle vergi idarelerinin vergi kaçakçılığı ve kayıt dışı ekonomiyle mücadelede elektronik araçlara olan talebini artırmaktadır. Bu tür kaçakçılık faaliyetleri genellikle sahte belgeler ve manipüle edilmiş faturalar yoluyla gerçekleştirilmektedir (Rathod, 2018). Dolayısıyla 2019 yılı sonunda Tencent, Çin Devlet Vergi İdaresi’nden, hükümet yetkilileriyle iş birliği içinde blok zincir teknolojisine dayalı yeni bir fatura standardı geliştirme talimatı almıştır (Njugna, 2019).

Shenzhen Vergi Dairesi, Mart 2018’den itibaren “blokzincir + e-fatura” uygulamasının bir pilot proje olarak hayata geçirilmesi için bir plan geliştirmiştir. Bu çerçevede, Çin’in ve uluslararası alanda önde gelen teknoloji şirketlerinden biri olan Tencent ile iş birliği yapılarak bir “akıllı vergi” inovasyon laboratuvarı kurulmuştur. Shenzhen Vergi Dairesi, Çin Devlet Vergi İdaresi’nden onay aldıktan sonra, ağustos 2018’de “blokzincir + e-fatura” pilot uygulamasını resmen uygulamaya koymuştur (Shumin, 2019). Bu uygulama kapsamında, KDV fatura kontrol sistemine dâhil olmayan mükellefler, iş süreçlerinde blok zincir kullanarak KDV faturalarını yönetmek için ilk grup olarak belirlenmiştir. Bu mükellefler, müşterilerine e-fatura düzenleme ve KDV’ye tâbi mal ve hizmet alımlarında ödenen vergilere ilişkin indirim hakkı talep etme süreçlerini blok zincir üzerinden gerçekleştirmiştir

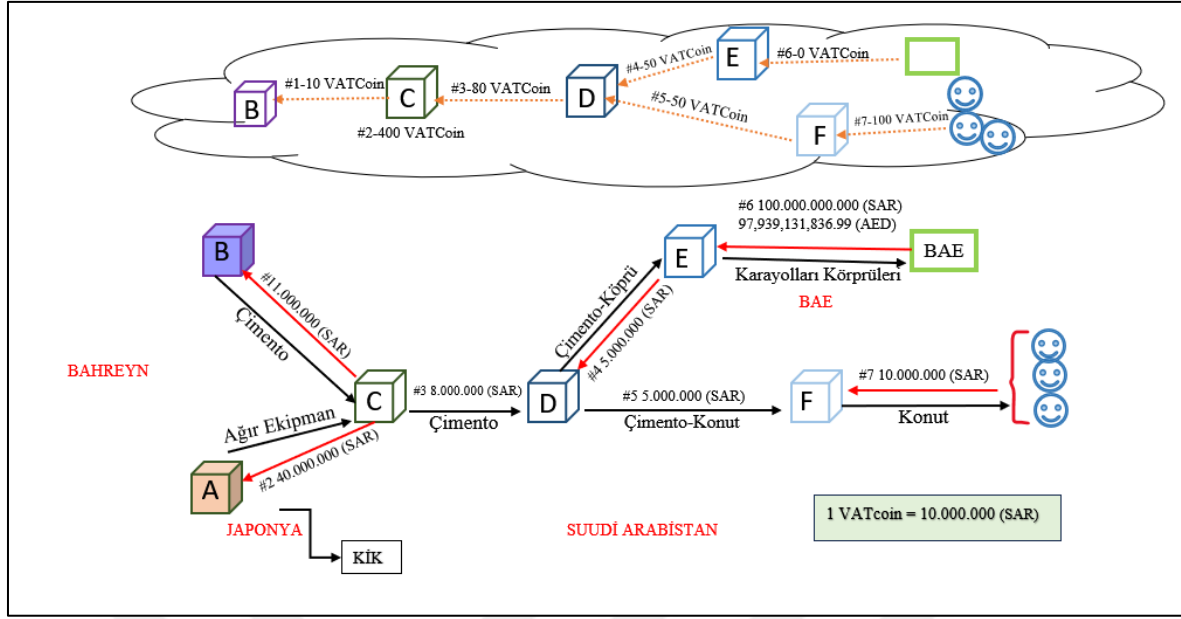
(Xu ve Zhang, 2022, s. 134). KDV, vergi indirimi uygulamasıyla kendi kendini denetleme olanağı sağlayan önemli bir kamu geliridir. Ödenmesi gereken vergi, oluşturulan vergi faturasının değeri ile kesilen vergi faturasının değeri çıkarılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan vergi, beyanname verilmeden önce KDV beyan döneminin sonunda ödenmektedir. Her vergi mükellefi vergi faturası oluşturamamakta; yalnızca KDV amaçlı vergiye tâbi kişilerin vergi faturası oluşturma izni söz konusudur (Wijaya vd., 2017, s. 4). Asya'daki vergi idareleri, KDV gibi dolaylı vergilendirme alanlarında blok zincir uygulamalarını tercih etmekte ve merkezi blok zincir sistemleri kullanmaktadır. Ancak, vergi idarelerinde blok zincir uygulamalarının hayata geçirilebilmesi için belirli ön koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda uygun bir kamu politikasının, altyapının ve hukuki çerçevenin oluşturulması büyük önem taşımaktadır (Müller, 2020a, s. 1).

Wijaya vd., (2017), KDV sistemi için blok zincir tabanlı bir vergi modeli geliştirmiştir. Bu teknoloji sayesinde KDV sistemine uygulanarak yolsuzluğun azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Buna göre yeni sistemde KDV mükellefi, bir blok zincir hesabı edinmekte ve vergileme sürecindeki tüm işlemler bu hesap üzerinden gerçekleştirilmektedir. KDV sistemi vergi faturası sistemine dayalıdır ve geliştirilen model kapsamında e-fatura ile kâğıt kullanımını sona erdirmektedir. Ayrıca, sistem sahte fatura düzenlenmesini önlemektedir. Blok zincir tabanlı bir vergi sistemi, vergilendirme sürecinde işlemlerin ne zaman ve nerede gerçekleştiğini tespit etmeye de olanak tanımaktadır. Bu sayede yetkililere vergilendirme süreci hakkında nitelikli veri sağlanabilir. Bu modelde, vergi idaresi KDV süreci üzerinde daha fazla kontrol sahibi olmaktadır (Yayman, 2021, s.146).

KDV ödemelerinin Bitcoin ile yapılabilme fikri yıllar önce gündeme gelmiştir. Bu fikir Richard Ainsworth, Musaad Alwohaibi ve Mike Cheetham'ın "VATCoin Körfez İş Birliği Konseyi'nin (KİK) Kriptotaksisi" başlıklı makalesinde açıklanmaktadır. Bu fikir KİK için bir öneri olarak tasarlanmıştır (Frankowski vd., 2017, s. 17). VATCoin'ler, KDV ödemeleri için oluşturularak Bitcoin gibi dijital bir para birimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak Bitcoin'in aksine VATCoin sabit bir orana sahip olmakla beraber VATCoin ağında işlemler devlet katılımcıları tarafından doğrulanmaktadır. Diğer bir deyişle VATCoin, hükümet tarafından başlatılan özel bir dağıtık defter sistemidir (Ainsworth vd., 2016, s. 2). KİK için oluşturulan blok zincir, altı üye ülkenin (Suudi Arabistan, Kuveyt, BAE, Katar, Bahreyn ve Umman) tamamını kapsayacaktır. Geçerli işlemler bloklar halinde toplanacak, kriptografik olarak mühürlenerek yaklaşık her 10 dakikada bir zincirde bir sonraki bloğa eklenmesi planlanmıştır. Doğrulama ve mühürleme mekanizması, KİK ağı içindeki aktif düğümlerin

(node) %75'inin oyu ile gerçekleştirilmektedir. KİK'in VATCoin'lerinin merkezi olarak, Suudi Arabistan'ın Riyad kentindeki KİK bilgisayar merkezinde “basılacağını” ve tüm KİK bölgesinde kullanılacağını varsaymaktadır. Bu süreç büyük ölçüde tek yönlü ilerlemektedir. İşletmeler, ticari işlemlerinde kullanmak üzere VATCoin satın alarak bu VATCoin'leri KİK Bulut sistemindeki hesaplarında tutmaktadırlar. Bu sayede ticaret devam ettikçe, VATCoin'ler işletmeler arasında transfer edilebilecektir (Ainsworth vd., 2016, s. 7).

Konuyu bir örnek ile açıklamak gerekirse varsayalım ki KİK'in tüm altı üyesi, KİK Çerçevesi'ne uygun olarak %5'lik bir KDV kabul etmektedir. Çerçeve'nin VATCoin düzenlemesi, dijital işlem verisi toplama için Dijital Fatura Gümrük Değişim Sistemi düzenlemesi ve körfez içi tedariklerle ilgili olarak tek durak sistemi uyguladığını varsayalım. “C”, Suudi Arabistan'da standart çimento bloklarından otoyol köprüleri için bir dizi beton yapı malzemesi üreten bir işletmedir. “C”nin Suudi Arabistan'da büyük miktarda kum ve suyu bulunmaktadır, ancak “B” adlı tedarikçiden Bahreyn'den 1.000.000 (SAR) değerinde çimento ve “A” adlı tedarikçiden Japonya'dan 40.000.000 (SAR) değerinde ağır inşaat ekipmanı satın alması gerekmektedir. “C”nin tüm çıktıları, Suudi Arabistan'da yapı malzemeleri satan “D” adlı bir dağıtıcıya 8.000.000'a (SAR) satılmaktadır. “D”, stoklarının yarısını 5.000.000'a (SAR), BAE'de hükümet için otoyol köprüleri inşa eden yüklenici “E”ye transfer etmektedir. “D”, diğer yarısını 5.000.000'a (SAR), Riyad'da kişisel konutlar inşa eden Suudi Arabistan'dan yüklenici “F”ye satmaktadır. BAE, köprü inşaatı için 97.939.131.836,99 (AED) ödemektedir, bu da 100.000.000.000'a (SAR) eşittir. “F” tarafından inşa edilen beş kişisel konut, her biri 2.000.000'a (SAR) satılmaktadır (Ainsworth vd., 2016, s. 7). Şekil 20'de örnek görselleştirilmektedir. Her bir beton ürünü tedariki ile ilişkilendirilen VATCoin'lerin KİK Cloud'daki akışını göstermektedir.



Şekil 20. VATCoin Çalışmasına Örnek (Ainsworth vd., 2016, s. 7)

VATCoin'in sağladığı fırsatlara bakacak olursak (Ainsworth vd., 2016, s. 9-13):

- KDV hiçbir tüccarın mülkiyetinde değildir. Çünkü tüm KDV, KİK bulutunda tutulmaktadır. Kayıp tacir kaçakçılığı, genellikle hükümet adına KDV tahsil eden bir tüccarın, beyanda bulunmadan ve vergiyi ödmeden ortadan kaybolması etrafında dönmektedir. VATCoin'ler, bu olası dolandırıcılığı önlemektedirler.
- Gerçek zamanlı KDV açısından, KDV düzgün bir şekilde uygulandığında işletmeler vergi yükünü taşımazlar. Çünkü VATCoin ile her mükellefin KDV hesabı günlük olarak KİK bulutunda dengelenmektedir. Dolayısıyla girdiler için ödenen KDV, çıktılar için tahsil edilen KDV'den düşülmektedir. Pozitif değere sahip hesaplardan hazineye günlük fon transferi yapılacaktır. Negatif bakiyeye sahip hesaplar için ise iadeler aynı hızla belirlenebilecektir. VATCoin'in blok zincir altyapısıyla, akıllı sözleşmeler kolayca oluşturulabilir ve doğrulama sürecine tâbi olarak iadeler anında gerçekleştirilebilir.

Siber saldırılara karşı bakıldığında, VATCoin'in bir kripto para birimi olarak fiziksel temsili yoktur. Bununla birlikte yalnızca Suudi Arabistan'ın Riyad kentindeki güvenli bir bilgisayar sisteminde saklanan bilgisayar kodu olarak varlık göstermektedir. Dolayısıyla VATCoin'ler, Avrupa Birliği'nde aktif olarak alınıp satılan CO₂ izinlerinden (karbon emisyon hakları) farksızdır. Ayrıca eğer VATCoin'ler çalınırsa, anında değersiz hale gelmektedir ve VATCoin'ler için bir karaborsa oluşması söz konusu değildir (Ainsworth vd., 2016, s. 7).

Konu Rusya açısından ele alındığında ise KDV iadesinin elektronik ortamda yapılması için adımlar atıldığı görülmektedir. 2015 yılı ocak ayı itibarıyla tüm işlemsel KDV verilerini elektronik ortamda sunmaya başlamıştır. Bu sayede, Rusya federal vergi hizmetinin tedarik zinciri yoluyla malları izlemesine ve olası sistematik kaçakçılık ile vergi kaçırma işlemlerini tanımasına izin veren ulusal veri analiz platformunu kurmuştur (Altunbaşak, 2018, s. 364).

Bir diğer uygulama örneği olarak Tayland, blok zincir teknolojisi temelinde çalışan bir KDV iade sistemi uygulamaya koymuştur (Ledger Insights, 2019; Yayman, 2021, s. 146). Hollanda menşeli Summittto şirketi bünyesinde, gerçek zamanlı ve aynı zamanda güvenilir bir KDV raporlama sistemi geliştirmek amacıyla çalışmalar yürütmektedir. TX++ adlı projeleri, saniyede ortalama 700 fatura işleme kapasitesine sahip blok zincir tabanlı, merkezi olmayan bir veri tabanıdır. Proje, yetki kanıtı mutabakat mekanizmasını kullanarak sisteme entegre edilmiş yetkili kullanıcıların mutabakat sürecini yönetmesine olanak tanımakta bu sayede enerji ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Sistem, bir vergi mükellefi fatura yüklediğinde vergi idaresinin yalnızca faturanın şifrelenmiş parmak izini görebilmesi adına tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, başarılı bir veri ihlâli durumunda bile bilgisayar korsanlarının ele geçirilen verileri kullanamayacağı güvenli bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır (Summittto, 2020).

3.1.2. Gelir Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması

Gelir vergisinde vergiyi doğuran olay, gelirin gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmektedir. Gelirlerin tahsil edilmesi tahakkuk ve tahsil esasına dayanmaktadır. Blok zincir sistemi aracılığıyla gelir unsurlarının elde edilme yöntemi akıllı sözleşmelerle sağlanabilir. Akıllı sözleşmelerle tahakkuk esasının başladığı veya bu aşamadan sonra hukuki, ekonomik ve fiili tasarruf aşamalarının da blok zincir sistemi ile gerçekleştirildiği kontrol edilebilir. Nitekim nedensellik unsuru üzerinden bir işlem gerçekleştiğinde oluşabilecek vergi alacağı için tarh işlemi, blok zincir sistemi üzerinden akıllı sözleşme ile gerçekleşmiş sayılabilecektir. Bu çerçevede gerek Gelir Vergisi Kanunu (GVK) gerekse diğer vergi kanunlarında vergiyi doğuran olayın yeniden tanımlanması ve bunlara uygun yasal düzenlemelerin yapılması ihtiyacı doğacaktır (Biyan ve Carda, 2021, s. 106).

Her ne kadar gelişmiş ekonomilerin çoğunda ücret ödemeleri elektronik altyapı ile destekleniyor olsa da blok zincir teknolojisi henüz tam olarak uygulanmamaktadır. Merkezi olmayan ve dağıtık bir defter sistemine dayanan blok zincir teknolojisi ile ücretler üzerinden

vergi toplanması hem işverenler hem de çalışanlar için vergi güvenliğini artırırken hükümetler için de vergi tahsilatını hızlandıracaktır (Johnston ve Lewis, 2017, s. 17). Avusturya, Fransa, İtalya, İspanya ve İsveç gibi çoğu Avrupa Birliği ülkesinde, ücret gelirleri; sosyal güvenlik katkı paylarını ve gelir vergisini içermektedir. Net maaşın elde edilebilmesi için brüt maaştan sosyal güvenlik katkı payları ve gelir vergisi kesilmelidir. Bu nedenle, vergi yükümlülüğü işverenler ve çalışanlar arasında paylaşılmaktadır (Owens ve Hodzic, 2022, s. 820).

Blok zincir teknolojisi tabanlı bir sistemin uygulanması ile birlikte, işverenlerin aracı konumunda olmasına gerek kalmadan çalışan maaşlarından vergi ve sosyal güvenlik ödemelerinin hesaplanıp ilgili kurumlara aktarılması sağlanabilir. Daha gelişmiş bir blok zincir teknolojisi uygulamasıyla, sisteme entegre edilen akıllı sözleşmeler, aracıları ortadan kaldıran algoritmaların uygulanmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, işverenlerin başka bir işlem yapmasına gerek kalmadan sadece sistem içinde brüt ödemeyi ve sosyal güvenlik katkısını yapması gerekecektir. Bu da en küçük insan hatalarını bile önleyebilecektir (Altunbaşak, 2018, s. 364). Bu süreç, akıllı sözleşmelerin sisteme entegre edilerek tamamen otomatik hale getirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bu işlem aşağıdaki adımlarla uygulanabilir (Frankowski vd., 2017, s. 11):

- İşveren brüt maaş tutarını sisteme girer,
- Yalnızca vergi idaresi, bankalar ve diğer ilgili taraflarla sınırlı olan blok zincir sistemi içinde, akıllı sözleşme teknolojisi ödemesi ile vergi verilerini eşleştirir ve doğru vergi ile sosyal güvenlik kesintilerini hesaplar,
- Net maaş otomatik olarak çalışanın hesabına, hesaplanan vergi ise devletin hesabına aktarılır.

Sonuç itibarıyla, vergi süreci daha hızlı ve düşük maliyetli hale gelirken, nakit akışı daha verimli bir şekilde yönetilmektedir. Bu bağlamda blok zincir teknolojisinin sağlayacağı faydanın etkisi görülebilecektir.

Hollanda vergi idaresi incelendiğinde, bordro vergisinde blok zincir teknolojisi kullanarak ücret kesinti platformunu hayata geçirmeye yönelik çalışmalar yaptığı görülmektedir. Bu tasarım kapsamında, üçüncü taraflar olmaksızın özerk bir şekilde kendi kendini yürüten anlaşmalardan oluşan akıllı sözleşmeler yerleştirilerek işveren aracı olmaktan çıkarılmaktadır (Li vd., 2020, s. 6). Neticede, işverenler üzerindeki sorumluluk azalarak

verginin eksik beyan edilmesinin önüne geçilebilir. Bunun yanı sıra blok zincir teknolojisi ile kayıt altına alınan her bir verinin değiştirilemez oluşu denetimi de kolaylaştırabilir.

3.1.3. Transfer Fiyatlandırması Açısından Blok Zincir Uygulaması

Blok zincir teknolojisinin eşler arası veri yönetimini mümkün kılması nedeniyle, uluslararası vergiler açısından da faydalı olabileceği düşünülmektedir. Bu durum uluslararası kuruluşların, vergi cennetlerindeki sınır ötesi nakit akışlarını izlemek amacıyla transfer fiyatlandırmasına yönelik ülke bazında raporlama ve hükümetler arası bilgi paylaşımı gibi birçok politika ve araç geliştirdiği uygulamalarda gözlemlenmiştir (Owens ve Hodzic, 2022, s. 821). Transfer fiyatlandırması, ülke içerisinde yaratılan gelirin yurt dışına çıkarılmasını ve burada vergilendirilmesini sağlamak için kullanılan bir uygulamadır. Daha açık bir ifadeyle bir şirketin bağlı veya kontrol ettiği şirketlere ürün, kıymet veya hizmet satışı yaparken veya onlardan hizmet satın alırken uyguladığı fiyatlara transfer fiyatlandırması adı verilir (Şenyüz vd., 2024, s. 408).

Her ülkenin transfer fiyatlandırmasını düzenleyen yasaları farklı olup, ilişkili taraflar arasındaki sınır ötesi işlemlerin, ilişkisiz taraflar arasında açık piyasada teklif edilen veya alınan fiyatları yansıtan emsallere uygun fiyatlarla gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Jurgen, 2018, s. 7). Diğer bir deyişle emsallere uygunluk ilkesi, birbirleriyle ilişkili olan taraflar arasındaki mal veya hizmet alım ya da satımında uygulanan fiyatın, aralarında böyle bir ilişkinin bulunmaması durumunda oluşacak fiyat ile uyumlu olmasını ifade etmektedir (Tosuner vd., 2025, s. 339). Geleneksel transfer fiyatlandırması düzenlemelerinin temelinde yatan mevcut transfer fiyatlandırması kurallarının yerine blok zincir ikame edilemeyebilir; ancak zincir içindeki akıllı sözleşmeler aracılığıyla bu tür düzenlemelerin uygulanabilmesi için teknik çözümler sunulabilir (Altunbaşak, 2018, s. 367).

Blok zincir teknolojisi, verilerin işlenmesi ve aktarılmasında güven sağlayan yapı taşlarından sadece biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle hükümetler ve vergi idareleri, şirket içi verilerin doğrulanmasına ve dolayısıyla transfer fiyatlandırmasının denetlenmesine olanak tanıyan yasal veya idari hükümler getirmelidir (Müller, 2020b, s. 362). Bu doğrultuda blok zincir teknolojisinin transfer fiyatlandırmasına vereceği yön Tablo 7’de aktarılmıştır.

Tablo 7. Blok Zincir Teknolojisinin Transfer Fiyatlandırmasına Vereceği Yön

Geleneksel transfer fiyatlandırması	Blok zincir tabanlı transfer fiyatlandırması
Geleneksel transfer fiyatlandırması, firma içi belgeler ve yazışmalara dayanmaktadır. Her bir tarafın rolünü belirlemek için manuel süreçlerden faydalanılmaktadır.	Blok zincir tabanlı dağıtılmış defter, işlemlerin akışını ve tüm tarafların kimliğini kolayca takip etmeyi sağlar.
Firma içi anlaşmalar manuel olarak yürütülür.	Anlaşmalar, kendi kendine çalışan bir akıllı sözleşme olarak yazılır ve otomatik olarak yürütülür.
İşlem belgelerinin tahrif edilme riski yüksektir.	Blok zincirdeki tüm hareketler zaman damgalıdır ve kriptografik olarak mühürlenmiştir, böylece değiştirilmeleri imkânsızdır.
Tedarik zincirini takip etmek için sistem, büyük ölçüde kâğıt belgeler ve birçok sunucuda saklanan verilere bağımlıdır.	Tüm bilgiler blok zincirde saklanır ve erişim izni olan taraflar tarafından görülebilir.
Ödemelerin takibi ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) sistemleri üzerinden yapılır.	Ödemeler, belirlenen koşulları karşıladığı takdirde bir akıllı sözleşme tarafından otomatik olarak gerçekleştirilir.

Kaynak: Frankowski vd., 2017, s. 12

Transfer fiyatlandırması konusunda ÇUŞ'lar ön plana çıkmaktadır. Genellikle ÇUŞ'lar merkezi olmayan bir şirket yapısına sahiptir ve bu yapıda çeşitli iştirakler arasında birçok şirket içi işlem gerçekleştirilmektedir. Teknik düzeyde, farklı veri formatlarında ilgili işlem verilerine sahip farklı şirket sunucuları bulunmaktadır (Müller, 2020b, s. 362). Transfer fiyatlandırması birimleri veya transfer fiyatlandırması danışmanları, emsallere uygunluk ilkesine göre doğru transfer fiyatını hesaplayabilmek için bu verileri bir araya getirmeli ve gerekli belgeleri hazır bulundurmalıdır. Kapsamlı şekilde standartlaştırılmış işlem verileri mevcutsa, transfer fiyatlandırması süreçlerinin otomasyonu daha kolay uygulanabilmektedir (White, 2019). Blok zincir, transfer fiyatlandırması ile ilgili verilerin denetime uygun bir şekilde arşivlenmesine de katkıda bulunabilmektedir. Şirketler arası verilerin blok zincir üzerinde eşleştirilmesi, vergi denetimi sırasında belge sağlama maliyetlerini da azaltabilmektedir (Tönnissen ve Teuteberg, 2018, s. 1169-1175). Bu konu özellikle önemlidir, çünkü OECD/G20 BEPS Projesi, "Ülke Bazlı Raporlama" çerçevesinde yeni dokümantasyon gereklilikleri getirmiştir. Transfer fiyatlandırması dokümantasyonu temel olarak Yerel Dosya, Ana Dosya ve Ülke Bazlı Rapor'dan oluşmaktadır (Müller, 2020b, s. 363). Bunların yanı sıra grup içi işlemleri ve değer zincirindeki tüm kurumsal birimlerin

fonksiyonlarını belirleyen transfer fiyatlandırması stratejisi olmalıdır. Bir sonraki adım, bu stratejinin uygulanması ve ÇUŞ'ların transfer fiyatlandırması politikasının doğru hukuki çerçeveye uygun şekilde hayata geçirilmesidir. Bu bağlamda otomatikleştirilmiş süreçler, yapay zekâ yardımıyla transfer fiyatlandırmasını basitleştirebilir. Örneğin, şirketlerin varlıklarını ve risklerini daha kolay belirleyebilir (Rao, 2020, s. 120).

Her ülkede, vergi otoriteleri farklı transfer fiyatlandırması dokümantasyonları talep etmekte ve mükellefler benzer belgeleri birden fazla vergi otoritesine sunmak zorunda kalmaktadır. Bu durum, transfer fiyatlandırması belgelerindeki olası manipülasyonların zamanında tespit edilememesi riskini doğurmaktadır. Çözüm ise blok zincir teknolojisinde bulunabilir. Tüm transfer fiyatlandırması belgeleri, zaman damgalı ve kriptografik olarak güvence altına alınmış şekilde blok zincire kaydedilebilir. Böylece, vergi otoriteleri işlem akışlarını ve ilgili grup şirketlerinin kimliklerini izleyebilir. Bir diğer olasılık ise blok zincir kullanılarak birden fazla ülkenin katıldığı bir konsorsiyum oluşturulmasıdır. Bu sistemde, mükellefler aynı belgeyi birden fazla kez raporlamak zorunda kalmadan sisteme yükleyebilir. Böyle bir durumda, blok zincirdeki bilgiler yalnızca ilgili vergi otoriteleri tarafından görüntülenebilir (Owens ve Hodzic, 2022, s. 821).

ÇUŞ grubu tüm iş operasyonlarını bir blok zincir platformuna taşıdığına, blok zincirin akıllı sözleşme işlevi, sistemin “eğer, o zaman” mantığıyla çalışmasını sağlar. Bu, ÇUŞ grubuna bağlı şirketler arasındaki tüm grup içi sözleşmelerin yalnızca “eğer, o zaman” koşulu sağlandığında yürürlüğe gireceği anlamına gelmektedir. Özel bir blok zincir olması nedeniyle ÇUŞ grubu, blok zinciri önceden belirlenmiş transfer fiyatlandırması politikasına uygun şekilde programlayarak grup içi işlemlerin iş mantığını yansıtmayı ve belirlenen kurallar çerçevesinde çalışmasını sağlayabilmektedir (Wagh, 2017). Bu durumu aşağıda yer alan örnek ile açıklayabilmek mümkündür.

Şirket A, bir yazılım geliştiricisidir, Şirket B ise bulut platformu ve ağ altyapısı hizmet sağlayıcısıdır. Her iki şirket de aynı ÇUŞ Grup X bünyesinde yer almaktadır. Şirket A, Adobe Photoshop yazılımıyla rekabet eden bulut tabanlı bir yazılım geliştirmiştir. Yazılım ürününü ticarileştirirken, Şirket A'nın abonelerine güvenilir yazılım, bakım ve güncelleme hizmetleri sunmasını sağlamak amacıyla aynı anda bir milyondan fazla kullanıcıyı destekleyebilecek bir bulut platformuna ihtiyacı vardır. Şirket B, Şirket A'nın ihtiyaç duyduğu hizmetleri sağlayabileceğini iddia ettiğinden, iki şirket arasında bir bulut hizmeti sözleşmesi imzalanmıştır. Grup X'in özel bir blok zincir oluşturduğunu ve tüm işlemlerini

bu blok zincir platformuna taşıdığını varsayarsak, Şirket A ve Şirket B dâhil olmak üzere Grup X içindeki tüm ilişkili şirketler bu blok zincirin katılımcıları (düğümleri) haline gelmektedir. Blok zincirin transfer fiyatlandırması kurallarına uygun şekilde programlandığı durumda, blok zincirin akıllı sözleşme işlevi, sözleşmenin yalnızca Şirket B'nin güvenilir yazılım, bakım ve güncelleme hizmetleri sağlama kapasitesine sahip olduğunu blok zincir üzerinde yayımlaması halinde yürürlüğe girmesini sağlayacaktır (Tian, 2020, s. 166).

3.1.4. Gümrük Vergisi Açısından Blok Zincir Uygulaması

Blok zincir, uluslararası ticarete üretimden sevkiyata, dağıtımdan gümrük işlemlerine kadar geniş bir potansiyele sahip bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya genelinde gümrük otoriteleri, ticaretin yasallığını sağlamak ve kaçakçılığı tespit edip önlemek amacıyla mal akışını denetlemektedir. Etkin çalışabilmek amacıyla tedarik zincirindeki çoğu paydaşla iletişim kurarak ticaret belgelerini doğrulamaları gerekmektedir. Ancak bu süreçte bir sorun ortaya çıkmaktadır. Gümrük otoriteleri, diğer tedarik zinciri katılımcılarının sistemleriyle doğrudan iletişim kuramadıkları için süreç oldukça zaman alıcı olmaktadır. Bu duruma bir örnek olarak, Dubai Gümrük İdaresi'nin blok zincir teknolojisiyle geliştirdiği yenilikçi sınır ötesi e-ticaret platformu gösterilebilmektedir. Bu platformun sağladığı faydalar şunlardır (Owens ve Hodzic, 2022, s. 821):

- Gümrük işlemlerini tek bir sistemde birleştirerek envanterin daha kolay uzlaştırılmasını sağlamak ve bilgi paylaşımını optimize etmek,
- Beyanname hazırlık süresini ortadan kaldırarak ve e-ticaret işlemlerinin maliyetini düşürerek verimliliği artırmak,
- E-ticaret şirketlerini tanımlamak ve sertifikalandırmak,
- E-ticaretle uğraşan şirketler için esnekliği artırmak,
- Serbest bölgelerden ana karaya yapılan ithalatlarda fiziksel belge sunumunu azaltmak,
- Tüm paydaşlara e-ticaret işlemleri üzerinde %100 görünürlük ve izlenebilirlik sağlamaktır.

Blok zincir teknolojisi içinde; satıcılar, ekspres kargo şirketleri ve gümrük müşavirleri gibi işlemde yer alan tüm taraflar, bilgileri veya blokları gerçek zamanlı olarak doğrudan

gümrüğe iletmektedir. Dubai Gümrük'üne ek olarak, Kore Gümrük Servisi de blok zincir teknolojisini denemede oldukça aktif rol üstlenmektedir. Bu doğrultuda üç pilot proje gerçekleştirmiştir. E-gümrükleme (Elektronik gümrükleme) blok zincir projesi, katılımcılar arasında bilgi paylaşımını kolaylaştırmakla beraber ithalat gümrükleme raporlarını yetkililere otomatik olarak oluşturmaktadır. Vietnam ile yürütülen sınır ötesi blok zincir projesi, menşe belgelerinin güvenilirliğini artırmayı amaç edinmektedir. Ayrıca ihracat lojistiği blok zincir projesi Samsung, Hyundai Glovis, Busan Limanı Terminali, Shinhan Bank ve altmıştan fazla Koreli şirketin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu projenin hedefi, blok zincirin lojistik topluluğu tarafından üretilen verilerin doğruluğunu ve şeffaflığını artırıp artırmayacağını araştırmak olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu pilot projelerin başlıca faydaları şunlardır (Owens ve Hodzic, 2022, s. 822):

- Blok zincirin gerekliliği ve sağladığı avantajlar konusunda iç ve dış paydaşlarla fikir birliği oluşturmak,
- Blok zincirin gelecekte nasıl uygulanacağına dair kapsamlı tartışmalar yürütmektir.

Vergi ve gümrük bilgileri değişimi, farklı şirketler ve yetkililer arasında hâlâ çoğunlukla kâğıt tabanlı olarak gerçekleştirilmektedir ve bu durum sürekli olarak veri akışında kopukluklara neden olmaktadır. Bu mevcut durumu değiştirmek amacıyla, vergi ve gümrük alanında bir blok zincir çözümü olan taXchain geliştirilmiş ve sertifikalı şirketlerin, şirketler arası süreçlerini dijitalleşmenin bir üst seviyesine taşımalarına olanak tanımıştır. TaXchain'in amacı, şirketler arası ve yetkililer arasındaki vergi ve gümrük verilerinin daha iyi ve daha verimli bir şekilde değişimini sağlamaktır. Bu sistem, analog veri aktarımından dijital veri aktarımına geçişi hedeflemektedir. Bu bağlamda, taXchain vergi ve gümrük alanındaki farklı kullanım senaryolarını dijital ortamda, güvenli bir şekilde ve sertifikalı orijinal haliyle işleyebilen ilk blok zincir platformu olarak karşımıza çıkmaktadır. Blok zincir teknolojisinin burada kullanılmasının temel sebebi ise orijinalliğin kesin bir şekilde kanıtlanabilmesine olanak tanıyan özelliklere sahip olmasıdır. Vergi ve gümrük mevzuatında belgelerin orijinalliği kritik bir öneme sahiptir ve taXchain sayesinde dijital dünyada bu belgeler manipüle edilememektedir. TaXchain, Siemens ve Henkel'in vergi ve gümrük departmanlarının iş birliğiyle geliştirilmiştir. Terim, İngilizce "tax" (vergi) ve "chain" (zincir) kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir ve blok zincir teknolojisine dayalı vergi verisi değişimini ifade etmektedir. "X" harfi ise platform üzerindeki veri değişimini, diğer bir ifadeyle "Exchange" (değişim) kavramını temsil etmektedir. Buradaki temel fikir,

katılımcı şirketler tarafından zaten geliştirilmiş çözümleri paylaşmak ve kullanmak ya da belirlenmiş standartlar çerçevesinde ortaklaşa yeni çözümler geliştirmektir. Bu sayede, bireysel şirketlerin mevzuat veya içtihat değişiklikleri gibi durumlar üzerinde birden fazla bağımsız çözüm geliştirmesi ve farklı standartlar oluşturmalarının mümkün olduğunca önüne geçilmesi hedeflenmektedir (Gries, 2022, s. 45).

3.2. Mükellefler ve Vergi İdareleri Üzerinde Blok Zincir Teknolojisinin Etkileri

Vergileme ilişkisinde iki ana taraf bulunmaktadır. Bunlardan biri vergi idaresi, diğeri ise mükelleflerdir. Bu nedenle, her iki tarafın da vergilerin zamanında ve doğru bir şekilde tahsil edilmesi açısından yükümlülüklerini yerine getirmeleri gerekmektedir. Mükellefler açısından bakıldığında vergiyle ilgili işlemlere dair bilgilerin doğru bir şekilde beyan edilmesi ve maddi ile şekli yükümlülüklerin eksiksiz ve zamanında yerine getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu ikili ilişkide mükellefler açısından vergiye gönüllü uyumun sağlanması önemli konulardan biri olarak dikkat çekmektedir. Vergi idaresi açısından bakıldığında ise vergi kayıp ve kaçagını önlemede kullanılan temel araç, vergi denetimi olarak karşımıza çıkmaktadır (Nur, 2023, s. 508). Vergi mükellefleri ile vergi idaresi arasındaki ilişki, vergi tahsilatı ve vergi gelirlerinin artırılmasında önemli bir unsur teşkil etmektedir. Vergileme süreci mükellef açısından ne kadar adil ve şeffaf olursa vergiye gönüllü uyum da o kadar yüksek olacaktır (Birinci ve Aydemir, 2020, s. 75; Yegen, 2023, s. 143-147).

Günümüzde blok zincir ağının kullanımı zorunlu olmasa da birçok vergi idaresi, mükelleflerin ödeme süreçlerini daha şeffaf hale getirdiğini ve vergilendirilebilir işlemler ile tahsilat arasındaki zaman farkını önemli ölçüde azalttığını kabul etmektedir (Altunbaşak, 2018, s. 364). Blok zincir teknolojisi, sunduğu özelliklerle vergi idarelerine mükelleflerini etkin bir şekilde izleme ve denetleme imkânı sağlayacaktır (Gezer, 2023, s. 202).

Blok zincir teknolojisinin vergi sistemlerine entegrasyonu henüz yeni bir gelişme olup tam anlamıyla yerleşmiş değildir. Bu sistemin oluşturulabilmesi, devletlerin kendi veri tabanlarında buna uygun bir model geliştirmesine bağlıdır. Vergi sisteminde mükellef; işlemlerini dijital ortamda kaydederken, vergi idaresi de girilen verilerin doğruluğunu kontrol edip onaylayacaktır. Böylece veri akışı kesintisiz devam edecek ve bloklar birbirine eklenerek bir zincir meydana getirecektir. Son aşamada, dağıtık defterler temel alınarak

vergi beyanı oluşturulacak ve vergi matrahı buna göre hesaplanacaktır (Demirhan, 2019, s. 867).

Mevcut vergi sistemlerinde, özel taraflar arasındaki işlemler vergi amaçları doğrultusunda kendi kendine beyan edilmeli ve ödenecek vergiler belirlenen aralıklarla mükellefler tarafından ödenmelidir (Öztürk ve Yegen, 2024, s. 83). Bu kapsamda vergiye uyumluluk; çift taraflı muhasebe sistemleri ile bunların işletmeler arası işlemlerdeki karşılıkları, mevcut belge kayıtları ve fiili varlık bilançoları üzerinden yapılan denetimlerle kontrol edilmelidir. Bireyler söz konusu olduğunda ise denetimler genellikle gelirlerin ve vergilendirilebilir giderlerin doğru şekilde beyan edilip edilmediğini değerlendirmeye dayanır. Bu nedenle vergi uyumu hem mükellefler hem de vergi idareleri açısından oldukça maliyetli ve hata yapmaya açık bir süreçtir (Dimitropoulou vd., 2023, s. 465).

Farklı vergi mükellefleri ile yetkili makamlar arasında vergi ve gümrük bilgilerinin paylaşımı halen pek çok durumda kâğıt üzerinde yapılmaktadır. Bu durum beraberinde yüksek idari maliyetleri getirmektedir. Vergi ve gümrük verilerinin mevcut durumda aynı yöntemle paylaşılması da dolandırıcılığa karşı son derece açıktır. Bireysel düzeyde alınan önlemler genellikle yalnızca vergi ve gümrük mevzuatına uyumlu şirketler için ek maliyetler yaratırken, dürüst olmayan şirketler yeni yasal boşluklardan faydalanmaktadır. Burada odak noktası blok zincir teknolojisinin kullanımına yöneliktir. Bu teknolojiler, mükellefler için vergi uyum süreçlerini kolaylaştırmak ve vergi idarelerinin vergi kaçakçılığıyla mücadelesini destekleyerek vergi ve gümrük işlemlerinin denetimini basitleştirmek amacıyla kullanılmalıdır (Gries, 2022, s.38). Bunların yanı sıra; KDV, sınır ötesi vergi bilgi değişimi, transfer fiyatlandırması, bordro vergisi, damga vergisi ve sigorta primi vergisi gibi işlem vergilerine uygulanabileceği öngörülmektedir (Dimitropoulou vd., 2023, s. 474; PwC, 2016, s. 2). Diğer bir deyişle blok zincir, bu vergiler için vergiye uyum konusunda önemli bir gelişme sağlayabilecektir. Blok zincir teknolojisi, KDV ve gelir vergisi gibi vergilere uygulandığında işletmelerin hükümet adına vergi toplayan üçüncü bir taraf olarak rolünü etkisiz hale getirerek, akıllı sözleşmeler aracılığıyla vergilerin gerçek zamanlı ve sistematik olarak ödenmesini mümkün kılacaktır. Bu da hem şirketler hem de hükümetler için vergiye uyum maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilecektir (Sullivan ve Mizzi, 2018).

Dijital dünyada vergiye ilişkin verilerin kaynağı her zaman güvenli olmayabilir. Öte yandan, vergi idareleri doğru vergi değerlendirmesi ve denetimi yapabilmek için güvenilir verilere ve şeffaf süreçlere ihtiyaç duymaktadır. Bu sorun yeni olmamakla beraber küresel ölçekte OECD, dijital dönüşümün vergi idarelerinde gönüllü uyumu kolaylaştırma potansiyeline

sahip olduğunu vurgulamaktadır. Örneğin KDV Avrupa genelinde uyumlaştırılarak e-fatura gibi önemli işlemler için birçok ülkede dijital dönüşüm hızla ilerlemektedir (OECD, 2020).

Küreselleşme ve dijitalleşme dünyada sürekli artmaktadır. Ancak bu hızlı gelişim, genellikle sınır ötesi vergi sorunlarına yol açarak hem mükellefler hem de vergi idareleri için yönetim ve değerlendirme açısından çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Bu sorunun çözümü için, vergilendirilebilir kişi ve kurumlar ile vergi idarelerinin doğrulanmış içeriklere sahip belgeleri değiş tokuş edebilmesini ve sınır ötesi durumlarda mükelleflerin hatasız bir şekilde tanımlanmasını sağlayabilecek uluslararası bir dijital kimlik ve belge yönetim sistemine ihtiyaç vardır. Vergiye ilişkin belgelerin güvenilir bir şekilde iletilmesi ve mükelleflerin özgün kimliklendirilmesi, âdem-i merkeziyetçi ve değiştirilemez blok zincir teknolojisi sayesinde mümkün olabilir. “Bireysel egemen kimlik” (Self Sovereign Identity-SSI) olarak adlandırılan yeni kavram, internet üzerinden gerçekleştirilen çok uluslu iletişimde kimliklerin güvenilir bir şekilde doğrulanmasını sağlamaktadır. SSI; merkezi otoritelerden bağımsız olarak çalışır, tamamen özerktir ve dış etkilere maruz kalmamaktadır. Ayrıca kimlik doğrulama için araçlara ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylelikle kullanıcıların kimlik bilgilerini kanıtlamak için herhangi bir aracıya başvurması gerekmemektedir. Kimlik verileri birden fazla uygulamaya veya veri havuzuna dağılmak yerine, doğrudan kullanıcıya/kimlik sahibine bağlı kalmaktadır (Müller, 2022, s. 96).

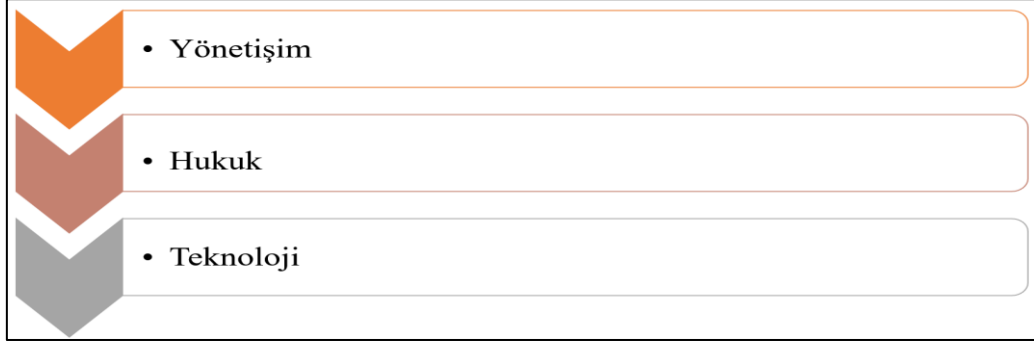
Blok zincir altyapısının, her aşamada sisteme hâkim olunabilmesini sağlayarak blok zincir tabanlı vergileme ekosisteminin etkinliğini artırma potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle akıllı sözleşmelerle eş zamanlı işlem imkânı, mevzuata uyum konusunda yaşanan karmaşanın önüne geçmektedir. Vergiyi doğuran olayın blok zincir tabanlı sistemle gerçekleşmesiyle birlikte kayıt altına alınan verilerin değiştirilemez olması vergi idareleri için büyük avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra vergiyi doğuran olayın ilk gerçekleştiği andan itibaren sistem üzerinde herhangi bir müdahalede bulunulmadığı için şeffaflık ve kolay denetim gibi çeşitli avantajlar sağladığı görülmektedir (Kaya ve Akıncı, 2022, s. 225).

Sürekli değişim halinde olan vergi teknolojileri, sistem içerisindeki tüm mekanizmaları dinamik tutmakta ve mütemadiyen yenilenmeyi teşvik etmektedir. Süregelen bu dönüşüm; şirket muhasebecileri, serbest muhasebeci mali müşavirler, yeminli mali müşavirler, vergi müfettişleri ve denetçiler olmak üzere vergileme süreçlerinde yer alan çeşitli paydaşları yakından ilgilendirmektedir (Doğan, 2015, s. 10).

3.3. Dünyada Vergileme Alanında Blok Zincir Teknolojisi

Vergi hukuku, blok zincir teknolojisinin otomasyonu ile uyumlu olabilecek bir potansiyele sahiptir. Her bir değer transferinde, işlemin taraflarının yanı sıra ona vergi sonuçları atfeden “görünmez” bir üçüncü taraf (devlet) bulunmaktadır. Bu nedenle, devletin vergileme yetkisini etkin bir şekilde kullanabilmesi için vergilendirilebilir (aynı zamanda medeni hukuk kapsamındaki) olaylardan haberdar olması gerekmektedir. Blok zincir teknolojisi hem bilgi akışlarının sağlanması hem de uygulama süreçleri açısından bu konuda oldukça önemli bir destek sağlayabilir (Dimitropoulou vd., 2023, s. 465).

Blok zincir teknolojisinin kavramsal yeniliği, vergi sistemlerini dönüştürmedeki işlevselliği açısından büyük önem taşımaktadır. Blok zincir; sınırsız veya belirli sayıda eşler arasında, birbirlerine güven duymalarına gerek kalmadan, vergilendirilebilir olaylara ilişkin verilerin neredeyse gerçek zamanlı ve değiştirilemez şekilde saklanması sağlayan bir tür dağıtık defterdir (Sullivan ve Mizzi, 2018). Bu bağlamda Şekil 21’de blok zincir tabanlı vergi sisteminin temel unsurlarına yer verilmiştir.



Şekil 21. Blok Zincir Tabanlı Vergi Sisteminin Temel Unsurları (Post ve Cipollini, 2023, s. 413)’ten faydalanılarak tarafımızca oluşturulmuştur.

Blok zincir tabanlı vergi sisteminin temel unsurları; yönetim, hukuk ve teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu unsurlar, bir blok zincir ağının geliştirilmesi aşamasında yapılan seçimleri ifade eden bir matrisin sonucunda elde edilmiştir. Ölçeklenebilirlik açısından, blok zincir tabanlı vergi sisteminin nasıl tasarlandığını dikkate almak da kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda dünya genelinde blok zincir tabanlı vergi projeleri, kamu ve özel sektör iş birliği çerçevesinde geliştirilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, eğer bir blok zincir tabanlı vergi sistemi tamamen hükümet tarafından uygulanırsa sistemin merkeziyetsiz yapısı

sorgulanabilir. Post ve Cipollini'ye göre, ekosistemdeki tarafların iş birliği içinde çalışması gerekmektedir. Ancak bunun büyük ölçüde; belirli bir ekosisteme, vergilendirme mekanizmasına ve ekosistemdeki tarafların spesifik rollerine bağlı olduğu da söylenebilmektedir. Örneğin KDV gibi (işlem bazlı) vergiler söz konusu olduğunda, vergi idaresinin rolü daha pasif ya da aktif olabilirken, gelire ilişkili vergilerde farklı bir rol ortaya çıkabilir (Post ve Cipollini, 2023, s. 416).

Vergide yaşanan dijital dönüşüm potansiyeli birçok ülke tarafından fark edilmiştir ve Avrupa'daki SAF-T veya Güney Amerika'daki gerçek zamanlı e-fatura gibi yeni uygulamalar ortaya çıkmıştır (Jurgen, 2018, s. 5). Estonya, BAE, ABD, Avustralya, Singapur ve İsviçre gibi ülkeler özellikle çevrim içi işletmelerle ilgili olarak vergi sistemlerinde blok zincir teknolojisini keşfetmeye yönelik adımlar atmıştır (Anomah vd., 2024, s. 4). Örneğin **Estonya**, vergiyle ilgili süreçler de dâhil olmak üzere e-devlet hizmetlerinde blok zinciri benimseyen öncü ülkelerden biridir (Jalakas, 2018, s. 15).

Estonya'nın vergi bilgi değişim altyapısının merkezinde, "X-Road" adlı açık kaynaklı bir platform üzerinde çalışan son derece gelişmiş bir dijital altyapı bulunmaktadır (Martinovic vd., 2017, s. 9). Günümüzde X-Road, dünya genelinde 20'den fazla ülkede uygulanmaktadır. Ayrıca, federasyon yoluyla iki X-Road ekosisteminin birbirine bağlanmasını sağlayarak sınır ötesi veri değişimini desteklemektedir. 2017 yılından bu yana X-Road, Estonya ve Finlandiya arasında otomatik veri paylaşımına olanak tanımaktadır. X-Road platformunda veri bütünlüğü, gelen tüm verilerin kaydedilmesi ve giden tüm verilerin dijital olarak imzalanıp şifrelenmesiyle sağlanmaktadır. Farklı bilgi sistemlerini birbirine bağlayan X-Road platformu, yeni hizmetler eklendikçe ölçeklenebilir yapısıyla ortak bir katman oluşturarak vergi bilgilerinin değişimini mümkün kılmaktadır. Estonya'nın X-Road platformu, verimli bir dijital yönetim sistemi sunmasına rağmen, veri bütünlüğü konusunda hâlâ bazı endişeler mevcuttur. Veri hırsızlığı, değiştirme veya silme olasılıklarına karşı, İsviçre merkezli Guardtime şirketi, dağıtılmış mutabakat protokolü kullanan "anahtarsız imza altyapılı" bir blok zincir teknolojisi geliştirmiştir. Anahtarsız imza altyapılı blok zincir, X-Road platformundaki orijinal verileri benzersiz hash değerlerine dönüştürmek için tek yönlü hash fonksiyonları kullanarak tamamen doğrulanabilir bir güvenlik kanıtı oluşturmaktadır. Kullanıcılar verinin hash değerini anahtarsız imza altyapısına göndererek, verinin imzalandığı zamanı, bütünlüğünü ve kaynağını kriptografik olarak doğrulayan bir imza almaktadırlar. Bu yöntem sayesinde veriler X-Road platformunda kalırken, yalnızca hash değeri anahtarsız imza altyapılı blok zincir ağına gönderilmektedir. X-Road

platformundaki tüm bilgiler, blok zincire kaydedilen özgün bir imza ile güvence altına alınarak, gerçek zamanlı dolandırıcılık tespiti ve bilgiyi değiştirme girişimlerinin önlenmesini sağlamaktadır. Anahtarsız imza altyapılı blok zincir teknolojisi, elektronik verilerin matematiksel olarak doğrulanabilmesini mümkün kılmakla beraber dijital kayıtlar için yasal bir varlık kanıtı oluşturmaktadır (Krishnan, 2023, s. 14).

X-Road platformu, toplu imzalama ve zaman damgalama işlemlerini desteklemektedir. Toplu imzalar, ekler içeren mesajlar için oluşturulurken; toplu zaman damgalama ise belirli bir süre içinde işlenen tüm mesajlara zaman damgasının toplu ve eşzamanlı olmayan bir şekilde eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu yöntem, zaman damgalama işleminin yükünü azaltmak için kullanılmaktadır. Her ikisi de Merkle Ağaçları'na dayanmaktadır ve aynı ortak işlemde işlenen mesajlar bir karma zincir aracılığıyla birbirine bağlanmaktadır. Bu sayede, belirli bir mesajın belirli bir toplu imzanın parçası olup olmadığı doğrulanabilmektedir. Güvenlik sunucusu, işlenen tüm mesajları ve imzaları zaman damgalarıyla birlikte günlük alınan mesaj veri tabanında saklamaktadır. Günlük kayıtları düzenli olarak disk arşivine alınmakta ve ardından veri tabanından silinmektedir. Mesaj günlük arşiv dosyasında, her mesaj bir önceki arşivlenen mesaja bağlı bir kriptografik karma içermekte ve bu zincir farklı arşiv dosyaları boyunca devam etmektedir. Bu sayede mesaj günlük arşiv dosyaları, tek bir güvenlik sunucusunda işlenen tüm mesajları içeren bir zincir oluşturmaktadır. Bu yapı, mesaj günlük arşiv dosyalarındaki mesajların zinciri bozmadan değiştirilemeyeceği anlamına gelmektedir (Kivimäki, 2018).

Estonya'nın anahtarsız imza altyapılı blok zincir teknolojisi çözümünün önemli avantajlarından biri, ağ mutabakat protokolüne katılan sınırlı sayıda katılımcı sayesinde yalnızca bir saniyede senkronize mutabakata ulaşabilmesidir. Bunun için hash toplama tabanlı bir yetki kanıtı mekanizması kullanılarak, Bitcoin gibi dijital para birimlerinde kullanılan ve yüksek hesaplama gücü gerektiren iş kanıtı mekanizmasına olan ihtiyaç ortadan kaldırılmaktadır. İş kanıtı yönteminden bu uzaklaşma, çevresel sürdürülebilirlik ve ölçeklenebilirlik gibi kritik sorunlara çözüm getirirken, maliyet etkinliğini de artırmaktadır (Post ve Cipollini, 2023, s. 455).

Benzer şekilde *Avustralya Vergi Dairesi*, vergi raporlama ve uyum süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla blok zincir uygulamalarını detaylı bir biçimde incelemiştir (Allen ve Potdar, 2024, s. 211). ABD'de ise ulusal çapta bir uygulama olmamakla birlikte, Ohio gibi bazı eyaletler vergi ödemelerini kripto para ile kabul etmeyi denemiş ve elde edilen sonuçlar, blok zincirin vergiyle ilgili konularda keşfedilmeye açık olduğunu göstermiştir

(Riggs ve Vyas, 2022, s. 18). Brezilya vergi idaresi tarafından geliştirilen ve “blok zincir vergi dosya numarası (bCPF)” olarak adlandırılan blok zincir projesi, vergi mükelleflerine atanan vergi kimlik numaralarının ve vergiyle ilgili bilgilerin federal, eyalet ve belediye düzeylerindeki tüm vergi makamları ve düzenleyici kurumlarla paylaşılmasını kolaylaştırmak üzere tasarlanmıştır. Bu projenin bir diğer aşaması ise tüzel kişilikleri aynı ilkeleri kullanarak benzer bir çerçeveye entegre etmeyi amaçlayan “bCNPJ” adlı blok zincir tabanlı bir sistemin oluşturulmasını içermektedir (Collosa, 2021).

Blok zincir teknolojisi, **Kazakistan’da** nispeten yakın zamanda popülerlik kazanmaya başlamış olsa da bu alanda bir projenin planlanma aşamasında olduğu görülmektedir. KDV’de blok zincir teknolojisinin uygulanması bakımından “KDV Blok Zincir Bilgi Sistemi” tanıtılmıştır. Sistem, vergi mükelleflerinin mali işlem zincirlerini takip etmeyi ve garantili KDV geri ödemesini gerçekleştirmeyi sağlayan merkezi olmayan bir veri tabanı oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Aynı zamanda KDV’nin yönetimi ile ilgili bir dizi sorunu çözmeyi amaçlayan “Blok Zincir Teknolojiyle KDV’nin Yönetimi” uygulanması amaçlanmıştır (E-government Kazakhstan, 2025).

Singapur Uluslararası Ticaret Odası tarafından ise blok zincir teknolojisinin somut uygulaması 2018 yılında tanıtılmıştır. Bu kurum, menşe sertifikalarının (e-Certificate of Origin) bir blok zincir platformunda elektronik olarak saklanabileceği bir yaklaşım önermiştir. Bu proje kullanıcılara menşe sertifikalarını QR kodları aracılığıyla güvenli bir şekilde takip etme imkânı sağlamaktadır. Dijital sertifikaların onay işlemlerinin ithalatçılar ve bankalar tarafından bu QR kodlar kullanılarak gerçekleştirilebileceği duyurulmuştur (E-trade for all, 2018).

Uygulamaya **Almanya** açısından bakıldığında, vergi kayıp ve kaçakıyla mücadele hususunda blok zincir teknolojisini kullanmayı amaçladığı görülmektedir. Bu kapsamda 2018 yılında Alman ekonomi haber merkezi Woche, BMWi’nin blok zincir teknolojisini kullanarak vergi kaçakçılığıyla mücadele etmeyi amaçladığını bildirmiştir. BMWi, dağıtık defter teknolojisinin vergi sistemini yönetebileceğini ve vergi kaybını önlemede daha etkili olabileceğini belirtmiştir. Bu konu, Avrupa Vergi Dolandırıcılığı (CumEx-Files) Planı’nın ardından gündeme gelmiştir. Söz konusu Plan; borsa yatırımcıları, bankalar ve üst düzey avukatlar tarafından milyarlarca dolarlık temettü vergisi spekülasyonu yapmak için kullanılmıştır. Almanya, bu dolandırıcılık sonucunda 63 milyar dolarlık zararla en büyük kaybı yaşayan ekonomi olmuştur. Parlamento Devlet Sekreteri Christian Hirte’ye göre blok zincir teknolojisi, vergiye ilişkin bilgilerin her zaman tam olarak izlenebilir olmasını

sağlayabilir. Almanya Federal Maliye Bakanlığı 2012 yılı öncesinde vergi düzenlemelerindeki boşluklar nedeniyle 5 milyar dolardan fazla kara para aklandığını açıklamıştır (Yayman, 2021, s. 145).

Finlandiya ise 2010 yılının başından bu yana vergi sistemlerinin dijitalleştirilmesi üzerine çalışmaktadır. GenTaX adı verilen yazılım sistemi, 2016 yılında farklı vergi türlerini kendi çerçevesine entegre etmeye başlamıştır ve 2019 yılına kadar tüm vergi türleri tek bir sistemde konsolide edilmiştir (OECD, 2022, s. 129). Ayrıca Finlandiya Vergi Dairesi “MyTax” adını verdiği, mükelleflerin vergi ile ilgili işlemleri gerçekleştirebileceği bir sistem geliştirmiştir. Vergi idaresi platformu olan MyTax, mükelleflerin kendi beyanına dayalı vergi beyannamelerini (örneğin KDV veya işveren katkı payları) verebildiği bir sistem olarak tasarlanmıştır (PwC, 2025). Finlandiya Vergi Dairesi vergi mükelleflerine MyTax platformunda rehberlik sağlamak amacıyla “Virtanen” adı verilen sohbet robotunu sisteme entegre etmiştir (PwC, 2022, s. 36). Bunların yanı sıra Finlandiya Sosyal Güvenlik Kurumu (Kela) ve TietoEVERY şirketinin iş birliği çerçevesinde 2019 yılında “akıllı para” adını verdikleri blok zincir tabanlı pilot uygulaması yürürlüğe konulmuştur. Bu uygulama da rehabilite edici psikoterapi özelinde dijital geri ödeme sürecinin tasarlanmasına ve doğrulanmasına odaklanılmıştır. Bu uygulamanın amacı mevcut ödeme sistemlerinin basitleştirilmesi ve ödeme süreçlerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesidir. Akıllı para sayesinde müşterilerle yapılan terapi seanslarına dair güvenilir bilgiler gerçek zamanlı olarak elde edebilmektedir. Bu uygulama ile birlikte, neredeyse tüm geri ödeme işlemlerine ilişkin evrak işleri ortadan kalkmakta ve bu da yılda 700 iş günü kadar bir iş yükünden tasarruf anlamına gelmektedir (Ofori vd., 2020).

Brezilya Federal Gelir Dairesi 21 Kasım 2018’de RFB 1.649/2016 Yönetmeliği’nde bir değişiklik yaparak blok zincir teknolojisini ilk kez federal vergi uyum sistemine dâhil etmiştir. Daire, bu sistemi “bCPF” olarak adlandırmıştır. Bu aşamada, blok zincir teknolojisi yalnızca hükümetler arası bilgi alışverişi için kullanılması amacıyla tasarlanmıştır. Özellikle bu teknolojiyi, yalnızca federal hükümetin kontrolündeki diğer kurumlarla ve vergiyle ilgili gizlilik kapsamında olmayan verilerin paylaşımı için kullanılacağını belirtmiştir (Deffenti, 2018).

Rusya Federasyonu, 2017 yılında dürüst işaret (Chestny ZNAK) adı verilen dünyanın en gelişmiş takip ve izleme sistemlerinden birini uygulamaya koymuştur. 2019 yılında belirli ürünlerin izlenmesi zorunlu hale gelirken, sistem o tarihten bu yana genişlemeye devam etmiştir. Perspektif Teknolojileri Araştırma Merkezi tarafından oluşturulan Chestny ZNAK,

beş adımda ürünlerin orijinalliğini ve doğru vergi beyanını garanti etmeyi amaçlamıştır. İlk adım olarak, ürünlerin üzerine karekod biçiminde özgün bir kod konulmuştur. Bu kod iki bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; ürünün takip sistemindeki konumuyla birleşik ürün kataloğunu belirleyen tanımlama kodu ve operatör tarafından yerli kriptografi teknolojisi kullanılarak oluşturulan doğrulama kodudur. Karekod ürünün nakliyesi boyunca izlenmesini sağlamaktadır. Veri matrisi ikinci adımda ürünün taşınma sürecinde takibini sağlamaktadır. Üçüncü adımda ise, ürün mağazaya ulaştığında veri matrisi kodu taranır ve dördüncü adımda, ürün satıldığında ve mağazadan çıktığında tekrar taranır. Son adımda ise ürünü satın alan kişi, Chestny ZNAK uygulamasını kullanarak ürünün yolculuğunu takip edilebilmekle birlikte kalitesini ve yasallığını da doğrulayabilmektedir. Rus vergi idaresinin bir diğer köklü girişimi de Vergi İzleme Programı'dır. 2012'de pilot proje olarak başlatılan bu Program, 2014 yılında Rus Vergi Kanunu'na dâhil edilmiştir. Vergi İzleme Programı, uygulama programlama arayüzleri aracılığıyla muhasebe ve raporlama sistemlerine uzaktan erişim izni veren firmaların gönüllü katılımına dayanmaktadır. Gerçek zamanlı veri alışverişi karşılığında katılımcı şirketler, geleneksel vergi kontrolünden muaf tutulmakta ve uyum maliyetlerini en aza indirebilmekle beraber vergi risklerini de azaltabilmektedirler (PwC, 2022, s. 40).

ÇHC Shenzhen Vergi Dairesi, vergi idarelerinin gerçek kişi mükellefler hakkında vergiye ilişkin bilgilerin edinilmesine, yönetilmesine ve diğer kamu idareleri ile paylaşılmasına olanak tanıyan “Gerçek Kişi Bilgi Paylaşım Platformu”nu geliştirmiştir. Buradaki amaç, vergileme sürecinde doğru bilgi ve veriye ulaşılmasıdır. Bu uygulamada vergi blok zincir oluşturulmasını sağlamak amacıyla çekirdek zincir ve iş düğümlerinden oluşan iki katmanlı bir blok zincir yapısı geliştirilmiştir. Çekirdek zincir, Shenzhen vergi idaresini temsil etmekte ve blok zincirin mutabakat düğümünü oluşturmaktadır. Bu zincir, iş düğümleri tarafından sunulan tüm verileri toplamakta, doğrulamakta ve değerlendirmektedir. Oluşan vergi blok zincir, dijital varlık alt zincir ve bilgi alışverişi alt zincir olarak ikiye ayrılmaktadır. Dijital varlık alt zinciri, dijital varlıkların mülkiyetine ve blok zincir e-faturaları ve vergi sertifikaları da dâhil olmak üzere sözleşme yürütme kapasitesine odaklanmaktadır. Bilgi alışverişi alt zinciri ise Gerçek Kişi Bilgi Alışverişi Platformu'ndaki ilgili taraflar arasında veri ve bilgi paylaşımını sınırlamaktadır. Bu Platform'la vergi idareleri, mükellefler ile ilgili bilgilere bir veri seti halinde ulaşabilecektir. Aynı zamanda fatura sürecinin vergi indirimini de kapsayacak şekilde yönetimine imkân sağlayabilecektir (Xu ve Zhang, 2022, s. 135).

ABD blok zincir teknolojisini “geleceğin teknolojisi” olarak görse de diğer ülkeler blok zincir teknolojisini veri ve bilgi ortamına entegre etme çalışmalarını ABD’den daha kapsamlı bir şekilde sürdürmektedir. Örneğin, Çin blok zincir teknolojisini uygulama açısından ABD’nin oldukça önündedir. Amerikan İç Gelir İdaresi’nin (Internal Revenue Service-IRS) blok zincir teknolojisini vergi süreçlerinde veya farklı vergi türlerinde kullanmasından ziyade kripto para birimlerinin vergilendirilmesiyle ilgili düzenleyici eylemlere odaklandığı görülmektedir (Knapp, 2022). Amerika’nın Mali Hizmetler Bürosu, hibe ödeme süreçlerini blok zincir teknolojisi kullanarak sadeleştirmek amacıyla bir görev emri vermiştir. Bu girişim, federal hibelerin ödenmesinde blok zincirin uygulanmasına yönelik bir sonraki adımı temsil etmekte olup, şeffaflığı artırmayı, raporlama yüklerini azaltmayı ve dolandırıcılık ile usulsüz ödemelere karşı iç kontrol mekanizmalarını güçlendirmeyi hedeflemektedir. Bu çaba, büro tarafından geliştirilen blok zincir tabanlı bir hibe ödeme talebi prototipi üzerine inşa edilmekte olup, blok zincir teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilecek bir hibe ödemesiyle sonuçlanması planlanmaktadır (Bureau of the Fiscal Service, 2021).

Diğer bir açıdan Nemade vd., (2019), bir blok zincir vergilendirme sisteminin nasıl çalışacağını şematik olarak ortaya koymakta olup mal ve hizmet vergisi gibi alanları potansiyel uygulama örnekleri olarak göstermektedir. Ancak, vergi sisteminin karmaşıklığı ve bilişim uzmanı eksikliğinin uygulamaya karşı bir engel oluşturduğunu belirtmektedirler (Kimani vd., 2020, s. 8). Bunun yanı sıra Emelianova ve Dementeyev (2020), blok zincir teknolojisinin vergi kaçakçılığını azaltabileceğini öne sürmektedir. Ancak, çoğu devletin bu teknolojiyi bireysel düzeyde ele alarak hukuki düzenlemeler getirmesi ve bunu koordineli bir şekilde yapmaması, istenmeyen bir şekilde “vergi arbitrajı” fırsatları yaratabilmektedir. Bu durumda, bir devletin vergi kuralları, diğer bir devletin kurallarına karşı avantaj elde etmek amacıyla kullanılabilir (Kimani vd., 2020, s. 8). Vergi arbitrajı, herhangi bir riske maruz kalmadan vergi mevzuatındaki boşluklardan yararlanarak risksiz bir vergi avantajı elde etme uygulaması olarak tanımlanabilir. Vergi arbitrajı aynı zamanda farklı vergi türlerinden veya değişen vergi oranlarından yararlanarak vergi avantajı elde etmeyi de amaçlamaktadır (Akdoğan, 2023, s. 201; Şen ve Sağbaş, 2023, s. 319; Yüce vd., 2023, s. 130). Dolayısıyla ülkelerin blok zincir teknolojisi ile ilgili düzenlemeleri koordineli bir şekilde gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

3.4. Türkiye’de Vergileme Alanında Blok Zincir Teknolojisinin Uygulanabilirliği

Blok zincir teknolojisi Türkiye’de vergileme alanında kullanılmamakta olup literatürde Türkiye için blok zincirin vergisel işlemlerde uygulanabilirliği hakkında çalışmalar az sayıdadır. Bu durum konunun önemini göstermektedir. Diğer yandan, 2025 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı’nda blok zincir teknolojisine yönelik adımlar atılması planlanmıştır. Bu plan, Ticaret Bakanlığı’nın ortaklaşa sorumluluğu çerçevesinde blok zincir teknolojisini dış ticaret işlemlerinde kullanarak dijital ortamda gümrük uygulamalarını yaygınlaştırmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda yürütülmesi beklenen faaliyetler, Gümrük Müdürlükleri tarafından gerçekleştirilen beyanname kontrol süreçlerinin iyileştirilmesi ve eşyanın vergilendirilmesine ilişkin idare tarafından yapılan tespitlerin doğruluk oranının artırılmasında blok zincir teknolojisinin kullanılmasıdır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2025, s. 249). Dolayısıyla Türkiye’de blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanılması için planlamalar yapılmaktadır. Ayrıca bu teknolojinin çalışma prensibi ve diğer ülkelerde söz konusu muhtemel uygulamaları göz önüne alındığında bu teknolojinin akıllı sözleşmelerden de faydalanılarak uygulama alanı bulabileceği yönündedir.

İlk olarak dijital dönüşümün bir parçası olan e-faturaların (Avcı, 2022 s. 105) blok zincir teknolojisine entegre edilmesi işlemlerin takibinin yapılabilmesini kolay hale getirebilir. Çin, Endonezya ve Güney Amerika gibi ülkelerde, vergilemede kaçakçılığın önlenmesinde blok zincir tabanlı vergileme işlemlerinin sağlanması amacıyla e-faturanın blok zincir teknolojisiyle entegre edilmesine yönelik çalışmalar olduğu gözlemlenmektedir. Türkiye açısından bu entegrasyonun uygulanabilirliğine bakıldığında, Gelir İdaresi Başkanlığı’nın (GİB) sağladığı sistemde, gönderici ve alıcı mükellefler, GİB tarafından kurulan bir mesajlaşma ağı üzerinden XML tabanlı bir bilgi işlem sistemi ile herhangi bir yazılım gereksinimi olmaksızın e-fatura oluşturmaktadır. Burada alıcı ve gönderici arasındaki merkez GİB’tir. Dolayısıyla öncelikle GİB, bu faturaların veri kurallarına olan uygunluğunu denetlemektedir. Gönderilen e-fatura bilgilerini içeren XML formatındaki faturanın uygunluğunu doğrulayan merkez, elektronik imza veya mali mühür bulunup bulunmadığını kontrol ettikten sonra e-faturayı alıcıya iletmektedir. Alıcı, elektronik imza veya mali mühür varlığının kontrolünü yaptıktan sonra merkeze bir sistem yanıtı göndermekte ve merkez bu yanıt doğrultusunda e-faturada değişiklik yapmadan göndericiye göndermektedir. Ticari fatura düzenlenmesinde bu sürecin yanı sıra alıcı gelen bu faturayı kabul edebileceği gibi iade ve ret etme haklarına da sahiptir (GİB, 2018, s. 18). Burada dikkat edilmesi gereken

hususlar, GİB tarafından sadece faturadaki mührün doğruluğunu teyit etmekten ziyade, mührün varlığına bakılarak formata uygunluğunun kontrol edilmesidir. Ayrıca GİB'in oluşturulan bu e-faturaları saklama yükümlülüğü bulunmamaktadır (İnci, 2023, s. 103).

Bu konuda Beştaş (2022) blok zincir teknolojisi ile e-faturaların mühürlerinin doğrulanabileceği ve bu faturaların saklanabileceği bir çözüm önerisi sunmuştur. Bu öneride üç katmandan söz edilmektedir. Bu katmanlar; front-end (web sayfasının ön yüzü), back-end (web sayfasının arka yüzü) ve web tarayıcısı'dır. Kullanıcılar front-end katmanında isteklerini oluşturmakta back-end katmanı ile de mevcut yazılımları kullanarak veri tabanı ile iletişime geçerek veri tabanından gelen yanıtı tekrardan front-end katmanına göndermektedir. Blok zincir teknolojisinin akıllı sözleşmeler entegrasyonu ile front-end katmanına girilen e-fatura bilgilerinin blok zincir ağında zaten var olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer daha önce mevcut değilse veri merkezi olmayan depolama çözümü olarak geçen “depolanan dağıtık dosya sistemi (Interplanetary file system (IPFS))” üzerine kaydedilmektedir. Söz konusu çalışmada e-faturanın blok zincir teknolojisine entegre edilebilme sürecine yer verilmiştir.

İkinci olarak konuya vergi türleri açısından bakılacak olursa, 193 sayılı GVK² karşımıza çıkmaktadır. GVK'da yedi gelir unsuru yer almaktadır. Bu gelir unsurları; ticari kazançlar, zirai kazançlar, ücret, serbest meslek kazançları, gayrimenkul sermaye iratları, menkul sermaye iratları ile diğer kazanç ve iratlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kazançların tespitinde gerçek kişilerin bir takvim yılı içerisinde elde ettiği kazanç ve iratların bilgisine ulaşmak büyük önem arz etmektedir. Gelir unsurları açısından bir kazancın hangi yedi unsur arasında olacağının tespit edilmesi ve uzlaşma müessesesi, ceza ve indirimlerin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için blok zincir teknolojisinin bu alanda kullanılması teşvik edilmelidir. Örneğin, ticari kazançlar GVK'nın 37. maddesinde sayılmıştır. Bu madde hükmüne göre “*Her türlü ticari ve sınai faaliyetlerden doğan kazançlar ticari kazançtır*”. Yapılan söz konusu tanımın yanında gayrimenkul alım satımı ve inşaat işleriyle devamlılık arz edecek şekilde işgal edenlerin bu faaliyetlerden elde ettikleri gelirlerin de ticari kazanç olarak vergilendirileceği belirtilmektedir (Özbek, 2021, s. 112). Dolayısıyla vergi hukuku doktrininde, ticari kazancın belirlenmesinde devamlılık unsurunun tespiti temel faktör olarak kabul edilmektedir (Karadağ ve Yakar, 2018, s. 396). Devamlılık unsurunun tespitinde karine teşkil edebilecek işlem sayısının belirlenmesinde blok zincir teknolojisinden istifade etme imkânı bulunmaktadır. Özellikle gayrimenkul işlemlerinden elde edilen gelirin arızı

² 06.01.1961 tarihli ve 10700 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır.

kazanç mı yoksa ticari kazanç mı sayılması gerektiğine ilişkin olarak akıllı sözleşmelere dayalı blok zincir teknolojisinden faydalanılabilir. Örneğin, bir mükellefin sahip olduğu hesap cüzdanında belirli bir dönem içerisinde birden fazla alım-satım işlemi gerçekleştirdiğinin tespit edilmesi söz konusu olabilir. Ayrıca mükellefin hangi usulde vergilendirilmesi gerektiğinin tespit edilmesinde blok zincir teknolojisinden istifade edilebilir. Örneğin GVK uyarınca 2025 yılı itibarıyla bir mükellefin yıllık mal alış tutarı 990.000 TL ve mal satış tutarı ise 1.580.000 TL tutarlarını aşıyor ise bu mükellefin kazancı gerçek usulde vergilendirilecektir. Eğer bir yıl içerisinde ticari vergi mükelleflerinin blok zincirindeki hesap cüzdanlarında yapılan sorgulamada bu tutarı aşan bakiyeler tespit edilirse, sistem otomatik hale getirilerek bu mükellefler akıllı sözleşmelerdeki basit yazılım tabanlı sorgulamalarla mümkün kılınan gerçek tarhiyat yöntemiyle vergilendirilebilir (İnci, 2023, s. 131). Aynı durumu zirai kazançlarda gerçek usulde vergilendirilecek mükellefin tespit edilmesinde de gerekli şartlar akıllı sözleşme tabanlı blok zincir teknolojisine girilerek sağlanılabilir.

İlaveten GVK, beyanname veren mükelleflere matrahın tespit edilme sürecinde bazı harcama kalemlerinden indirim yapma imkânı tanımıştır. Söz konusu indirimler GVK'nın 89. maddesinde yer almaktadır. Vergi indirim kalemleri; mükellefin kendisi, ailesi ve işletmesi için yaptığı giderler, bağış ve yardımlar, döviz girişini teşvik amaçlı indirim, sosyal amaçlı indirim ile zararların düşülmesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Bilici, 2024, s. 88-91). Bu indirimlerin takip edilerek mevzuat hükümlerine uygun bir şekilde gerçekleşebilmesi amacıyla blok zincir teknolojisinden faydalanılabilir. Örneğin Çin'de Shenzhen Vergi İdaresi'nin geliştirmiş olduğu gerçek kişi bilgi paylaşım platformu kapsamında oluşturdukları dijital varlık alt zinciri ve bilgi alışveriş alt zinciri gibi yan zincirler oluşturulabilir. Bu sayede vergi indirim kalemlerine ilişkin hükümlerin uygulanması amacıyla bu zincirlerdeki veri setinden faydalanılabilir. Genel bir ifadeyle gerçek kişi mükelleflerin işletmesi için yaptığı giderler ve sosyal amaçlı indirim gibi vergiye ilişkin bilgiler tek bir platformda toplanan verilerden hızlı bir şekilde kontrol edilebilir (İnci, 2023, s. 141).

Konuya kurumlar vergisi açısından bakıldığında, Türk vergi sisteminde 5520 sayılı Kurumlar Vergisi Kanunu'nda³ (KVK) kurum kazancının tespitinde bazı indirimlerin yapılamayacağını belirtilmektedir. Kanun'un 13. maddesinde geçen transfer fiyatlandırması

³ 21.06.2006 tarihli ve 26205 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır.

yoluyla örtülü kazanç dağıtımı bu indirimlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. KVK'nın 13. maddesinde *“Kurumlar, ilişkili kişilerle emsallere uygunluk ilkesine aykırı olarak tespit ettikleri bedel veya fiyat üzerinden mal veya hizmet alım ya da satımında bulunursa, kazanç tamamen veya kısmen transfer fiyatlandırması yoluyla örtülü olarak dağıtılmış sayılır”* ifadesi yer almaktadır. Dolayısıyla sorun, mal ve hizmetlerin alım veya satımını içeren işlemlerin emsallere uygunluk ilkesinden farklılık göstermesi halinde ortaya çıkmaktadır. Emsallere uygunluk ilkesi, ilişkili taraflar arasındaki mal veya hizmet alım ya da satımında uygulanan fiyat veya bedelin, bu kişiler arasında böyle bir ilişkinin bulunmaması durumunda oluşacak fiyat veya bedele uygun olması gerekliliğini ifade etmektedir. Buradaki ilişkili taraflar arasında; kurumların kendi ortakları, nüfuzu altında bulundurduğu gerçek kişi ve sermayesi bakımından doğrudan ve dolaylı olarak bağlı olduğu kurumlardır. Ayrıca Cumhurbaşkanı tarafından belirlenen ülke veya bölgelerde bulunan kişilerle yapılan tüm işlemler ilişkili taraflarla yapılmış sayılmaktadır (Tosuner vd., 2025, s. 338).

Transfer fiyatlandırması, ulusal ya da uluslararası ölçekte meydana gelebilmektedir. Her iki koşulda da vergi idaresi bakımından vergi gelirlerinin kaybı anlamına gelmektedir. Uluslararası transfer fiyatlandırması, vergi gelirlerinin bir ülkeden diğerine aktarılması anlamına gelmektedir. Bu tür durumlarda şirket, ortaklarına ya da ilişkili kişi veya kurumlara bedelsiz ya da piyasa değerinin üzerinde menfaat sağlamaktadır (Bilici, 2024, s. 115). Transfer fiyatlandırılması yolu ile örtülü kazanç dağıtımı ÇUŞ tarafından vergisel avantaj elde etmek amacıyla başvurulabilmektedir. Dolayısıyla bu şirketlere ait farklı ülkelerde bulunan bilgileri tekrara düşmesini engellemek ve doğruluğunu teyit etmek amacıyla blok zincir teknolojisinden faydalanılabilir. Transfer fiyatlandırılması ile ilgili belgeler ve belirlenen emsal fiyat, blok zincir ağına zaman damgası ve kriptografik şifreleme ile kayıt yapılabilir, böylelikle vergi idaresi şirketlerin grup içi ilişkilerini daha kolay takip edebilecektir. Transfer fiyatlandırması yoluyla örtülü kazanç dağıtımı suçlamalarının engellenebilmesi için kurumların ilişkili kişilerle yapacakları mal veya hizmet alım ya da satımında uygulayacakları fiyatları tespit ederken kullanacakları yöntemleri belirlemeleri gerekmekte olup, bu gereklilik belirli yöntemlerle sınırlı olmaksızın mevzuatta düzenlenmiştir. Bu yöntemleri; karşılaştırılabilir fiyat yöntemi, maliyet artı yöntemi ve yeniden satış fiyatı yöntemi olarak sıralamak mümkündür (Öncel vd., 2024, s. 424). Blok zincir teknolojisi açısından bu yöntemlerden karşılaştırılabilir fiyat yöntemi (ilişkili olmayan taraflar için belirlenen piyasa fiyatı) uygun olabilir. Blok zincire kaydedilen malların piyasa fiyatları tek bir veri setinde toplanabilir. Bunun yanı sıra Türk Gümrük Tarife Cetveli (GTİP)

tanımlamasından türetilen bir kodlama sistemine dayalı olarak, benzer nitelikteki ve aynı kodu paylaşan mallar için bir referans fiyat aralığı oluşturulabilir. Dolayısıyla emsal fiyat aralığı kolay bir şekilde belirlenebilir (İnci, 2023, s. 157).

Son olarak KDV açısından konu ele alındığında, blok zincir teknolojisinin bu vergi türünde daha çok yer bulduğu ifade edilebilir. Bu vergi üretim zincirinin her bir aşamasında ortaya çıkan katma değer üzerinden alınmaktadır. Türk vergi sisteminde bu verginin konusuna giren işlemler; ticari, sınai, zirai ve serbest meslek faaliyeti çerçevesinde yapılan teslim ve hizmetler ile diğer bazı teslim ve hizmetler olarak iki gruba ayrılabilir. Dolayısıyla vergiyi doğuran olay, “*malın teslimi veya hizmetin yapılması*” anında ortaya çıkmaktadır (Bilici, 2024, s. 142). KDV’de vergiyi doğuran olayın tespitinde blok zincir teknolojisinden faydalanılabilir. Böylelikle mükelleflerin bir malın tedarik aşamasını gerçekleştirme süreçlerinde, her bir aşamanın zincirde saklanarak değiştirilemez olması sayesinde KDV’ye tâbii olup olmadıkları kolay bir şekilde tespit edilebilir. Blok zincir teknolojisinin KDV sistemine potansiyel katkılarında biri de vergi mükellefi kaydının oluşturulmasında görülebilir. Nguyen vd., (2019b) tarafından Ethereum ağı üzerinde geliştirilen sistemde önerildiği üzere, vergi otoritesinin KDV mükelleflerini blok zincir ağına eklemesi örneğine benzer şekilde GİB’e kayıtlı KDV mükelleflerinin de bir blok zincir ağına eklenmesi mümkün olabilir (İnci, 2023, s. 159).

Türkiye’de KDV’nin temel prensibi, mal ve hizmetlerin üretimi ve nihai tüketiciye ulaştırılmasının her aşamasında yaratılan katma değer vergilendirilmesine dayanmaktadır (Bilici, 2024, s. 142). Bu vergilendirme sürecinde, vergi mükelleflerinin mal ve hizmet satarken tahsil ettikleri veya ödemekle yükümlü oldukları KDV’den, satın alımlarında ödedikleri KDV’yi düşmelerine izin verilmektedir. Dolayısıyla, vergi mükellefinin belirli bir dönemde yarattığı katma değer, katlandığı katma değeri aşması halinde ödenecek bir KDV tutarı ortaya çıkmaktadır (Bilici, 2024, s. 160). Bu bağlamda KDV’nin indirim konusu yapılabilmesi mükellefler için önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Ancak bu avantajdan yararlanabilmek için 3065 sayılı KDV Kanunu⁴’nun 30’uncu maddesinde belirtildiği üzere yüklenilen KDV’nin alış faturaları ile tevsik edilmesi ve kanuni defterlere kaydedilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda blok zincir teknolojisi indirim mekanizmasının uygulanması için kullanılabilir. KDV mükellefleri, faturalarında belirtilen KDV tutarlarını bir blok zincir ağı içinde ve belirli bir blok altında kaydederek alıcının onayına sunabilirler. Alıcı tarafından

⁴ 02.11.1984 tarihli ve 18563 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır.

onaylanan ve muhasebe defterlerine kaydedilen faturalar daha sonra kesintiye tâbi tutulabilir. İndirime tâbi KDV tutarları ile belirli bir dönem içindeki satışlardan hesaplanan KDV tutarları, akıllı sözleşmelere gömülü yazılım komutları aracılığıyla toplanabilir ve böylece indirim mekanizması aracılığıyla girdi KDV'sinin mahsup edilmesi sağlanabilir. Bu mekanizma sonucunda ödenecek bir KDV tutarı ortaya çıkarsa, ilgili tutarın vergi idaresinin hesaplarına otomatik olarak aktarılması da mümkün olabilecektir (İnci, 2023, s. 161-162).

Özellikle KDV'de vergi kaçakçılığının önlenmesi için olumlu bir yöntem olarak görülen blok zincir tabanlı vergilemenin Türkiye ekonomisine şeffaflık, yüksek vergi uyumu ve düşük maliyet sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak burada yapılması gereken vergi idarelerinin bu alandaki gelişmelere açık olması ve iş dünyasının blok zincir tabanlı teknolojiye uyum sağlayabilmesi için akademik çalışmaların bu konuya daha fazla odaklanması gerekmektedir (Altunbaşak, 2018, s. 368).

3.5. Vergilemede Blok Zincir Teknolojisinin Kullanımına İlişkin SWOT Analizi

Blok zincir teknolojisi, vergiye ilişkin verilerin değiştirilmediğini garanti ederek işlemlerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Aynı zamanda vergi mükellefleri ve vergi otoritelerinin aynı bilgilere erişmesini sağlayarak birden fazla taraf arasındaki işlemlerin şeffaflığını da artırabilmektedir. Bu sayede ihtiyaç duyulmayan veri ve bilginin artmasını en aza indirerek verimliliği sağlayabilmesi öngörülmektedir (Mazur, 2022, s. 118). Blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımının değerlendirilmesine yönelik oluşturulan SWOT analizi sonuçları Şekil 22'de gösterilmektedir.



Şekil 22. Blok Zincir Teknolojisinin Vergileme Alanında Kullanımının SWOT Analizi (Owens ve Hodzic, 2022, s. 818-819)’dan faydalanılarak tarafımızca oluşturulmuştur.

Blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımının değerlendirilmesi kapsamında hazırlanan SWOT analizinin sonuçlarına bakıldığında; bir işlemi en fazla iki saniyede tamamlayan blok zincirin geliştirdiği şeffaf işlemler, bu teknolojinin güçlü yönleri arasındadır. Aynı zamanda üçüncü taraf aracı olmaksızın vergi mükellefleriyle doğrudan bağlantı kurulması, finansal kurumların sürece dâhil olmaması anlamına gelmektedir. Tüm bilgilerin bloklar içinde yer alması ile birlikte belirli gruplara izin verilme olanağı sunulmakta ve kamuya açık olmasıyla bilgi ve iletişim hizmetlerinin kolay erişilebilir hale gelmesi sağlanabilmektedir. Bu durum, vergi idaresi ile vergi mükellefi arasındaki iletişimi önemli ölçüde hızlandırarak, akıllı sözleşmeler temelinde vergi beyanı ve tahsilat seviyesinin artmasına neden olabilecektir. Hem kamuya açık hem de izinli blok zincir avantajlarını bir araya getiren hibrit blok zincir türü, vergileme alanında en iyi çözüm olarak görülebilir. Bu türde veriler, vergi mükelleflerinin mahremiyetini koruyacak şekilde gizli tutulurken, yalnızca belirli bir kısmı kamu defterinde paylaşılmaktadır (Owens ve Hodzic, 2022, s. 819).

Blok zincir teknolojisine uyum sorununun olması, bu teknolojinin vergileme alanında kullanımı açısından güçsüz bir yön olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki GİB’in Dijital Vergi Dairesi üzerinden mükellefler, vergi idaresine gitmeden vergilerini ödeyebilmektedirler. Ancak mükelleflerin bu sisteme tam manasıyla uyum sağlayamadığı söylenebilir. Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin vergileme alanına entegre olmasının

ardından bu teknolojinin gelişebilmesi ve yer bulabilmesi için zamana ihtiyacı olabilir. Ayrıca mevcut teknoloji ile altyapıyı yükseltmek için yetersiz finansal kaynakların söz konusu olması da dikkat çekilmesi gereken zayıf bir yön olarak karşımıza çıkmaktadır. Vergi mevzuatının ve işlemlerin elektronik formatta tanımlanarak basitleştirilmesi bu teknolojinin kazandırdığı bir fırsat olarak görülebilir. Bu durum uyum risk yönetim sistemini geliştirerek vergi mükelleflerinin yükümlülüklerini daha iyi izlemeyi ve vergi kaçakçılığını daha hızlı tespit etmeyi mümkün kılacaktır. Çünkü blok zincir teknolojisi sayesinde verginin tarh aşamasından tahsil aşamasına kadar olan süreçte gerekli bilgiler, vergi mükellefleri ve vergi idareleri arasında anlık olarak gerçek zamanlı bir şekilde paylaşılmaktadır (Owens ve Hodzic, 2022, s. 819).

Vergi danışmanlarına duyulan ihtiyacın azalması ise ana tehditlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şirketlerin; muhasebe kayıtları ve vergisel süreçleri blok zincir teknolojisi üzerinden âdem-i merkeziyetçi bir şekilde yürütüleceğinden dolayı, bu süreçleri takip eden meslek mensuplarının rolü azalabilir. Dolayısıyla bu alandaki istihdam etkilenebilir. Bunun sonucunda şirketlerin vergiye ilişkin sorun yaşadıkları hususlarda danışabilecekleri uzman meslek mensuplarına erişim problemi yaşanabilir. Bu sorunlar vergi uyumsuzluklarının artmasına sebebiyet verebilir. Neticede Türkiye’de vergi mahkemelerindeki dosya sayısında artış gözlemlenebilecektir. Burada önemli olan nokta, blok zincir teknolojisine mevcut mevzuatların doğru, kolay ve anlaşılır bir şekilde entegre edilmesidir.

Ana tehditlerden bir diğeri de unutulma hakkının ihlâl edilebilmesidir. Unutulma hakkı literatürde; kişiye ilişkin dijital ortamdaki bilgilerin kişinin talebi üzerine kaldırılması olarak tanımlanmıştır. Bu hakkın kapsamı Avrupa Birliği Adalet Divanı tarafından değerlendirilmiş ve Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü ile düzenleme altına alınmıştır (Gülener, 2012, s. 227; Nalbantoğlu, 2018, s. 583). Bireyler kendileri için ileride olumsuz bir durumla karşılaşmalarına neden olacak bilgiyi dijital ortamda tutmak istemeyebilirler. Dolayısıyla insanların kendi kişisel verilerini kontrol etme hakkının dijital alandaki uzantısı olarak unutulma hakkını talep etmek istemeleri olağan bir durum olarak karşılanabilir. Blok zincir teknolojisi bağlamında unutulma hakkı incelendiğinde, blok zincire kaydedilen her bir verinin değiştirilemez olması ile birlikte bu veriler üzerinde geçmişe dönük bir değişikliğin yapılamaması ve tüm zincir ağında kaydedilmesi, kişisel verilerini paylaşmak istemeyenler için bir tehdit unsuru olarak düşünülebilir. Ayrıca internet hizmetlerini herhangi bir nedenle kullanmayı tercih etmeyen bireyler, verilerini kayıt altına alan blok zincir teknolojisinin avantajlarından tam olarak faydalanamayabilirler.

Son olarak ana tehditlerden biri, blok zincir teknolojisi bağlamında vergi arbitrajıdır. Vergi arbitrajı, vergi avantajı elde etmek için vergi kanunlarındaki boşluklardan yararlanarak vergi yükünün azaltılmasını ifade etmektedir. Vergi arbitrajı ulusal ölçekte olduğu gibi uluslararası ölçekte de ortaya çıkabilir. Bu durum sınır ötesi vergi arbitrajı olarak adlandırılmaktadır. Sınır ötesi vergi arbitrajı çoğunlukla ülkeler arasındaki vergi rejimi farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Örneğin; bir vergi mükellefinin bir takvim yılı içindeki geliri iki farklı ülkenin vergi kanunlarını ilgilendiriyorsa, bu durumdan yarar sağlayabilirler. A ülkesinin vergilendirme için ikâmetgâh ilkesini benimsediğini, B ülkesinin ise kaynak ilkesini uyguladığını varsayalım. Böyle bir durumda, vergi mükellefi B ülkesinde ikâmet ediyor ancak A ülkesinde gelir elde ediyorsa, bu gelir her iki ülke tarafından da vergilendirilmeyebilir (Şen ve Sağbaş, 2023, s. 319-320). Blok zincir teknolojisi bağlamında konu değerlendirildiğinde, devletlerin bu teknolojiyi kendi içinde ele alıp yasal düzenlemeler getirmemesi ve bunu koordineli bir şekilde yapmaması vergi arbitrajına neden olabilecektir. Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin vergilemede kullanılması hususunda uluslararası mevzuat birliğinin sağlanması büyük önem arz etmektedir.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Blok zincir teknolojisi, vergi sistemlerinde köklü bir dönüşümün kapılarını aralayabilecek bir potansiyele sahiptir. Diğer bir ifadeyle blok zincir teknolojisi dijital çağın bir ürünü olan ve sunduğu hayli etkili, şeffaf ve değiştirilemeyecek kayıt sistemi ile fark yaratan bir teknolojidir. Bu teknoloji verilerin depolanmasını sağlayan ve ilgili bilgilerin birbirine bağlı bloklara kaydolduğu bir tür veri tabanıdır. En temel düzeyde dağıtık defter teknolojisinin kanıtlanmış alt kümesi olan bu teknoloji, gerçekleşen işlemlerin kayıtlarını kronolojik bir sırayla korumak için kriptografi kullanmaktadır. Bu açıdan blok zincir teknolojisi dijital dönüşümün önemli bir parçasını yansıtmaktadır.

Blok zincirin temel özellikleri arasında dağıtık yapısı, mutabakat mekanizmaları ve şeffaflığı ön plana çıkmaktadır. İlaveten âdem-i merkeziyetçi doğası olan blok zincir teknolojisi, ağ üzerinden kullanıcıların birbirleri ile doğrudan bağlantı kurabilmeleri hasebiyle aracı bir üçüncü tarafa gereksinim duyulmamasını sağlamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı teşebbüsler arasında etkin rekabeti bozabilecek bilgi-veri paylaşımı da söz konusu olabilmektedir. Tüm bunlara rağmen blok zincir teknolojisi aracılığıyla etkin bir rehberle gerek duyulmaksızın iş/işlemlerin yapılmasına ve karar alma süreçlerinin hızlanmasına olanak tanınabilmektedir.

Blok zincir; muhasebeciler, finansçılar ve birçok profesyonel için kolaylıklar sunan ve önemli sonuçlar teşkil edebilecek şekilde; faturalama, ödeme, sözleşme ve dokümantasyon süreçlerini dönüştürmeye hazır son teknolojilerden biridir. Bu sayede bir taraftan işlemlerin gerçekleşme hızı ve verimliliği artarken diğer taraftan maliyetlerin en aza indirgenmesi mümkün olabilecektir. Bu avantajları sayesinde dünya çapında giderek artan bir üne kavuşan blok zincir teknolojisi gerek kamu ekonomisinde gerekse özel ekonomide kullanılır hale gelmeye başlamıştır. Blok zincirin birçok alana entegre edilmesinden ötürü ekonomide yeni bir teknoloji piyasası oluşmaktadır. Dolayısıyla blok zincir teknolojisi yeni iş modelleri yaratabilir ve gelecekte küresel ekonominin çalışma işleyişini değiştirebilir.

Günümüzde birçok ülkenin blok zincir teknolojisini belli başlı alanlara entegre etme çabası içinde olduğu görülmektedir. Örneğin İsveç, tapu sicili için blok zincir teknolojisinin kullanımına yönelik bir proje önermiştir. Bunun yanı sıra Rusya, Moskova'daki çiftçilerin

ticaret arazisi tahsis başvurularını kayıt altına almak amacıyla Ethereum blok zincirini kullanma planını açıklamıştır. Kanada'daki Blok Zincir Araştırma Enstitüsü'nün varlığı ise bu teknolojinin ekonomi ekosistemi içerisindeki önemini yansıtabilmektedir.

Vergi hukukunda blok zincir teknolojisinin uygulama alanlarına ilişkin kullanım senaryolarının ise özellikle KDV, gümrük vergisi ve transfer fiyatlandırması gibi işlem yoğunluğunun yüksek olduğu alanlara odaklandığı görülmektedir. Blok zincir teknolojisinin kullanımı, mükellefler için uyum süreçlerini kolaylaştırmayı, vergi kaçakçılığıyla mücadele etmeyi ve vergi idareleri için vergiye ilişkin hususların doğrulanmasını basitleştirmeyi amaçlamaktadır. Dolayısıyla blok zincir teknolojisinin vergi kaçakçılığının önlenmesine yönelik sağlayacağı olumlu etkiler, bir mükellefin alım/satım geçmişinin hesap cüzdanları üzerinden takip edilebilmesi, oluşan blokların zaman damgalı bir sıra ile takip edilebilmesi ve bir mükellef tarafından düzenlenen faturada belirtilen malların daha önce satın alınıp alınmadığının doğrulanmasına kadar geniş bir yelpazede karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın sınırlılığı, blok zincirin teknolojik yapısının belirli vergi türleriyle uyumlu olmasıdır. Söz konusu sınırlılık göz önüne alındığında, çalışmadan elde edilen hukuki bulgular dikkatle yorumlanmalıdır. Blok zincir teknolojisinin, bazı ülkelerde kamu sektörüne kısmen entegre edilmesi tüm dünyada ilgi uyandıran bir konu haline gelmiştir. Özellikle de vergilemede blok zincir teknolojisinin uygulanma düşüncesi konu hakkında pek çok tartışmayı beraberinde getirmiştir. Henüz bütünüyle hiçbir ülkede uygulama alanı olmasa da yakın gelecekte bu teknolojiyi vergi sistemlerine uygulayacak ülke sayısının azımsanmayacak düzeyde olacağı düşünülmektedir. Son zamanlarda blok zincir teknolojisinin vergi ile ilgili işlemlerde kullanılabilirliği hususunda farklı ülkelerde çeşitli girişimlerin ve çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bu teknolojinin vergileme alanındaki en yaygın kullanım alanları hususunda karşımıza vergi tahsilat süreçleri ve kaçakçılığın önlenmesi çıkmaktadır. İngiltere ve ÇHC gibi gelişmiş ülkelerin yanı sıra Estonya ve Suudi Arabistan gibi gelişmekte olan ülkeler de blok zincir teknolojisini vergi sistemlerine entegre etmek için çalışmaktadır. Bu çabaların çoğunluğu KDV üzerine odaklanmıştır. Bu nedenle diğer vergi türleriyle karşılaştırıldığında KDV, blok zincir teknolojisinden doğrudan etkilenen vergi türü olarak öne çıkmaktadır. Örneğin KİK ülkelerinde KDV ödemelerinin Bitcoin ile yapılabilmesi için VATCoin adında dijital bir para birimi önerilmiştir. Bu dijital para birimi, hükümet tarafından takip edilebilen ve doğrulanan özel bir dağıtık defter sistemidir. Bu sayede kayıp tacir kaçakçılığı gibi olası dolandırıcılıklar önlenabilmektedir. Blok zincir teknolojisinin KDV sistemine entegre edilmesinde karşımıza çıkan bir başka

örnek ise Tayland’da ortaya konulan blok zincir sistemi temelinde çalışan KDV iade sistemidir. Böylelikle KDV iade süreci daha sorunsuz ve hızlı gerçekleştirilebilecektir.

Konuya gelir vergisi açısından bakıldığında ise Hollanda vergi idaresinin, bordro vergisinde blok zincir teknolojisi kullanarak ücret kesinti platformunu hayata geçirmeye yönelik çalışmalar yaptığı görülmektedir. Gümrük vergisi açısından Kore Gümrük Servisi, e-gümrükleme blok zincir projesi ile katılımcılar arasında bilgi paylaşımını kolaylaştırmayı ve ithalat gümrükleme raporlarının yetkililere ulaştırılmak üzere otomatik olarak oluşturulmasını amaçlamaktadır. Gümrük işlemleri ile ilgili literatürde yer alan bir diğer yenilik, şirketler ve yetkililer arasındaki vergi ve gümrük verilerinin daha iyi ve verimli bir şekilde değişimini sağlamak amacıyla taXchain’in geliştirilmesidir. TaXchain’in amacı, analog veri aktarımından dijital veri aktarımına geçiştir. Dolayısıyla kâğıt bazlı belgeleri azaltarak işlemlerin daha verimli hale getirilmesine olanak sağlanabilir.

Blok zincir teknolojisinin tüm olumlu yönlerine rağmen birçok devlet tarafından merkezi olmayan bir teknolojinin kullanımına çok sıcak bakılmadığı için bu teknolojinin vergileme alanında kullanımı hususunda daha temkinli bir tutum sergileyebilmektedir. Diğer bir sebep olarak ise bu teknolojinin uygulama sahası hakkında örnek uygulamalarının kısıtlı olması, teknolojinin güvenilirliğine kuşkuyla bakılmasına neden olmaktadır. Ancak blok zincir teknolojisi hukuk sisteminin hemen hemen her alanını etkileyebilecek özelliklere sahip olması hasebiyle bir noktada vergi idareleri ve uygulayıcılar açısından bu teknolojiyi kullanmaktan kaçınmak oldukça güç olabilecektir.

Uluslararası kuruluşların, sınır ötesi nakit akışlarını izlemek amacıyla transfer fiyatlandırmasına yönelik ülke bazında raporlama ve hükümetler arası bilgi paylaşımını güvenilir hale getirmek amacıyla blok zincir teknolojisi temelli transfer fiyatlandırılması sistemi bir diğer önemli husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Transfer fiyatlandırmasında öne çıkan ÇUŞ’ların iş operasyonlarını akıllı sözleşmelerle desteklenmiş bir blok zincir ağına aldığı grup içi işlemlerin blok zincir sisteminde belirlenen kurallar çerçevesinde çalışması sağlanabilecektir. Tüm bu hususlar blok zincir teknolojisinin kullanımına yönelik ülkeleri kamçılayıcı özellikler arasında yer almaktadır.

Türkiye açısından blok zincir teknolojisinin vergileme alanına entegre edilmesi ise zaman isteyen bir süreçtir. Diğer ülkelerde söz konusu örnek uygulamalar göz önüne alındığında, bu teknolojinin akıllı sözleşmelerden de faydalanılarak uygulama alanı bulabileceği öngörülmektedir. Çin ve Endonezya gibi ülkelerde e-faturanın blok zincir teknolojisiyle

entegre edilmesine yönelik çalışmalar, Türkiye için rehber niteliğinde olabilir ve dijital dönüşümün bir parçası olan e-faturaların blok zincir teknolojisine entegre edilmesi sağlanabilir. Böylelikle blok zincir teknolojisi, dijital faturalar için depo görevi görebilir. Aynı zamanda Türkiye'deki gelir unsurlarının tespit edilmesinde akıllı sözleşmelere dayalı blok zincir aracılığıyla mükelleflerin bilgileri sisteme kaydedilebilir ve gelir türünün tespit edilmesinde önemli olan devamlılık unsuru gibi unsurların sisteme işlenmesiyle süreçle ilişkin işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebilir. İlâveten mevzuatta mükelleflere tanınan matrahın hesaplanma sürecinde harcama kalemlerinde indirim yapılma hakkının, blok zincir teknolojisine kaydedilen veriler ile otomatik olarak gerçekleşmesi mümkün olabilir. Transfer fiyatlandırması yoluyla örtülü kazanç dağıtımını önlemek amacıyla şirketlerin ilişkili kişilerle yapacakları işlemlerde uygun fiyat yönteminin belirlenmesi ve uygulanması için blok zincir teknolojisinden faydalanılabilir. KDV ile ilgili işlemlerde ise GİB'e kayıtlı olan mükellef bilgilerinin blok zincir ağına aktarılması ile mükelleflerin fatura oluşturma süreçlerinin takipleri kolaylıkla yapılabilir. Ayrıca blok zincir tabanlı bir vergi sisteminde anında müdahale gerektiren durumlarda vergi incelemesine gerek kalmadan akıllı sözleşmeler ile sistem üzerinden anlık önlemler alınarak riskler anında tespit edilebilir.

Blok zincir teknolojisinin vergileme alanında kullanımının değerlendirilmesi amacıyla yapılan SWOT analizi sonuçlarına bakıldığında güçlü yanlar arasında; vergi mükellefleriyle doğrudan bağlantı kurulması, bilgi ve telekomünikasyon teknolojilerinin daha geniş uygulanması, vergi yükümlülüklerini yerine getirme maliyetlerinin daha düşük olması, işlemlerin daha hızlı gerçekleşiyor olması ile daha yüksek verimliliğin sağlanması yer almaktadır. Zayıf yanlar arasında ise; teknolojiye uyum sorunu, modernizasyon için yetersiz mali kaynaklar ile bilgi ve telekomünikasyon alanında düzenleyici çerçevenin eksikliği ön plana çıkmaktadır. Fırsatlar kapsamında; vergi mevzuatının basitleştirilmesi, vergi mükellefleri için maliyetlerin azaltılması ve vergi kaçakçılığının önlenmesi hususları dikkat çekmektedir. Son olarak ise tehdit olan yanlar arasında; vergi danışmanlarına duyulan ihtiyacın azalması, unutulma hakkının ihlâl edilebilmesi ve vergi arbitrajı söz konusu olmaktadır.

Blok zincir teknolojisi vergileme süreçlerinin yönünü değiştirebilecektir. Bu önemli değişikliğin gerçekleşebilmesi için öncelikle vergiye ilişkin mevzuatların hazırlanması ve anayasal bir güvence altına alınması hususunda blok zincir teknolojisine çalışma prensibi ile entegre edilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle ülkelerin hukuki çerçeveleri ile yeni teknolojilerin birbirini tamamlayıcı olması sağlanmalıdır. Bu nedenle söz konusu

teknolojinin vergi sistemine entegre edilmesi, kamu ve özel sektörün uyum sağlamasıyla oluşabilecektir. Sistemin getirilerinin taraflara (mükellefler, tüm kamu kurum ve kuruluşları, muhasebe meslek mensupları ve denetim birimlerine) tüm yönleriyle izah edilebilmesi uygulamaya geçiş sürecini kolaylaştırabilecek önemli bir etmen olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hükümetlerin blok zincir teknolojisine yeterli düzeyde ilgi göstererek, dijitalleşen çağda bu teknolojiyi en önemli gelir kaynağı olan vergilerin etkin tahsil edilmesi amacıyla vergi sistemlerinde aktif rol oynayacak alanlarda kullanması büyük önem arz etmektedir. Politika yapıcıların blok zincir teknolojisinin standartlarını belirlemek ve etkileşimi sağlamak amacıyla ortak bir dil benimsemeleri gerekmektedir. Bu sayede blok zincir teknolojisi; farklı kullanıcılar, uygulamalar ve sistemler arasında birlikte çalışabilirlik ve veri alışverişinin sağlanması bakımından kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca politika yapıcılar vergi süreç modellerinde standartlaşmayı hedeflemelidir. Her ne kadar vergi kanunları ülkeden ülkeye farklılık gösteriyor olsa da kamu maliyesinde uygulanan temel süreçler benzerlik göstermektedir. Süreç modellerinin standart haline getirilmesiyle hükümetler daha fazla maliyet tasarrufu, daha etkin veri paylaşımını sağlamakla beraber operasyonel verimlilikten de faydalanabilecektir. Bu teknoloji tek başına bütüncül çözümler sağlayamasa da kamu kurumları ve vergi otoriteleri arasındaki birlikteliği güçlendirebilecektir. Dolayısıyla tüm kurumların verimliliğini artırarak kaynak ve zaman israfını ortadan kaldıracaktır. Ancak söz konusu teknolojik yapının, hukuki bir statüye kavuşturulması da büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, geleceğin teknolojisi adı verilen blok zincir teknolojisinin vergi alanındaki potansiyelini desteklemek amacıyla, kamuya açık bir blok zincir altyapısı geliştirilmesi düşünülebilir. Kamuya açık bir blok zincir altyapısı, devlet hizmetleri ve hatta özel sektör aktörleri tarafından hayata geçirilen dijital hizmetler için temel bir altyapı görevi görebilecektir. Dolayısıyla bu hizmetlerin kanunlara uygun ve sıkı güvenlik önlemleri içeren sorumlu yönetim modelleri kullanan bir blok zincir altyapısına dayanmasını sağlayabilecektir. Ancak blok zincir teknolojisinde yer alan pek çok sorunun varlığını sürdürmesini engellemek için Türkiye ve diğer pek çok ülkede bu teknolojiye dair, kuruluşlara detaylı bilgi birikiminin kazandırılması ve yaygınlaştırılması amacıyla kamu/özel sektör tarafından yeterli eğitimler düzenlenmesi teknolojiden sağlanacak faydayı arttırabilecektir. Şüphesiz blok zincir teknolojisinin benimsenmesi, vergilemede dijital dönüşüme ciddi bir katkı sağlayacaktır. Ancak unutulmamalıdır ki blok zincir girişimlerinin planlanmış bir yol haritası çerçevesinde uygulanması daha uygun olacaktır. Ayrıca

gelecekteki araştırmacılar, çalışma kapsamında yapılan SWOT analizini vergi türleri itibariyle spesifikleştirerek daha derinlemesine ele alabilirler.



KAYNAKÇA

- Abbassi, Y., & Benlahmer, H. (2021). IoT and blockchain combined: For decentralized security. *Procedia Computer Science*, (191), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.045>
- 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. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3103695>
- Ainsworth, R. T., & Shact, A. (2016). *Blockchain (distributed ledger technology) solves VAT fraud* (Working Paper No. 16-41). Boston University, School of Law, Law & Economics.
- Ainsworth, R. T., Alwohaibi, M., & Cheetham, M. (2016). VATCoin: The GCC's cryptotaxcurrency. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2916321>
- Allen, C., & Potdar, V. (2024). Blockchain to the rescue: Improving taxpayer engagement with blockchain. *SSRN Electronic Journal*, (50), 211-220. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4929990>
- Akdoğan, A. (2023). *Kamu maliyesi*. Gazi Kitabevi.
- Al-Megren, S., Alsalamah, S., Altoaimy, L., Alsalamah, H., Soltanisehat, L., Almutairi, E., & Pentland, A. S. (2018). Blockchain use cases in digital sectors: A review of the literature. *IEEE*, 1417–1424. https://doi.org/10.1109/Cybermatics_2018.2018.00242
- Altunbaşak, T. A. (2018). Blok zincir (blockchain) teknolojisi ile vergilendirme. *Maliye Dergisi*, (174), 360–371. <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0021684&lng=1>
- Anomah, S., Ayebofo, B., Aduamoah, M., & Agyabeng, O. (2024). Blockchain technology integration in tax policy: Navigating challenges and unlocking opportunities for improving the taxation of Ghana's digital economy. *Scientific African*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02210>

- Antonopoulos, M. A. (2014). *Mastering bitcoin: Programming the open blockchain*. O'Reilly Media.
- APG. (2024). *Anti-money laundering and counter-terrorist financing measures: Republic of the marshall islands* (No. 2024-9). Asia Pacific Group on Money Laundering. <https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/fsrb-mer/Marshall-Islands-MERNovember-2024.pdf.coredownload.inline.pdf>
- Asolo, B. (2018, 1 November). *Full node and lightweight node*. Mycryptopedia. <https://www.mycryptopedia.com/full-node-lightweight-node/>
- Atabaş, H. (2018). *Blokzinciri teknolojisi ve kripto paraların hayatımızdaki yeni yeri*. Ceres Yayınları.
- Atçıl, M. (2019). Blok zincir, akıllı sözleşmeler ve üçlü kayıt sistemi vergi ve muhasebe uygulamalarına katkı sağlayabilir mi?. *Vergi Sorunları Dergisi*, (370), 76-88.
- Avcı, O. (2022). *Türk gelir idaresinde ve vergi uygulamalarında dijital dönüşüm*. Ekin Yayınevi.
- Avcı, O. (2024, 17-20 Ekim). *Analyzing internet of things in the context of tax law* [Bildiri sunumu]. 38th International Public Finance Conference, Antalya, Türkiye. https://ipfctr.org/tr/wp-content/uploads/2025/01/38-IPFctr_Proceeding_Book.pdf
- Bank of America Merrill Lynch, HSBC & Infocomm Development Authority of Singapore (2016, 26 August). *BofAML, HSBC, IDA Singapore build pioneering blockchain trade finance app*. ENTERPRISEITNEWS. <https://www.enterpriseitnews.com.my/bofaml-hsbc-ida-singapore-build-pioneering-blockchain-trade-finance-app/>
- Baron, J. (2017, 21 Mart). *Blockchain, accounting and audit: What accountants need to know*. Thomson Reuters. <https://tax.thomsonreuters.com/blog/blockchain-accounting-and-audit-what-accountants-need-to-know/>
- Beedham, M. (2019, 1 March). *All you need to know about bitcoin network nodes*. The Heart of Tech. <https://thenextweb.com/news/bitcoin-blockchain-nodes-network>
- Belotti, M., Božic, N., Pujolle, S., & Secci, S. (2019). A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4). 3796-3838. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8760539>

- Bentov, I., Lee, C., Mizrahi, A., & Rosenfeld, M. (2014). Proof of activity: Extending Bitcoin's proof of stake. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 42(3), 1-19.
- Beştaş, M. (2022). Blok zincir ekonomisinde yeni uygulamalar: e-fatura üzerine bir inceleme. *Journal of Yařar University*, 67(17), 821-837. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2227593>
- Bilici, N. (2024). *Türk vergi sistemi*. Savař Yayınevi.
- Birinci, N., & Aydemir, B. (2020). Vergi idarelerinin dijitalleşmesi: Vergi idareleri ve vergi mükellefleri ağıından fırsatlar ve zorluklar. *Vergi Sorunları*, (388), 73-88.
- Bitcoin (2022, 2 December). *Running a full nodes*. Bitcoin. <https://bitcoin.org/en/full-node#what-is-a-full-node>
- Biyan, Ö., & Carda, H. (2021). Türk vergi hukukunda geleceęe dair öngörüler: Blok zincir teknolojisinin olası etkileri. *Maliye Dergisi*, (180), 93-114.
- BMWi & BMF. (2019). *Blockchain-Strategie der Bundesregierung: Wir stellen die Weichen für die Token-Ökonomie* (No. 19/13433). Die Bundesregierung.
- Blockchain Türkiye. (2019). *Blockchain regulations and practices in the world comparison report* (Yayım No. 2019-02). Blok Zincir Türkiye Platformu. https://bctr.org/dokumanlar/Blockchain_Regulations_in_the_World.pdf
- Bozdoğanoglu, B. (2020). *Dijitalleşme süreci ve vergilendirme*. Gazi Kitabevi.
- Brender, N., Gauthier, M., Morin, J.-H., & Salihi, A. (2019). The potential impact of blockchain technology on audit practice. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 14(2), 35-59.
- Brophy, R. (2019). Blockchain and insurance: A review for operations and regulation. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, 28(2), 215–234. <https://doi.org/10.1108/jfrc-09-2018-0127>
- Bureau of the Fiscal Service (2021, 12 October). *Fiscal service testing blockchain to streamline grant payment processes*. Bureau of the Fiscal Service Web Page. <https://fiscal.treasury.gov/news/fiscal-service-testing-blockchain-to-streamline-grant-payment-processes.html>

- Buterin, V. (2013, 26 August). *What proof of stake is and why matters*. Bitcoin Magazine. <https://bitcoinmagazine.com/culture/what-proof-of-stake-is-and-why-it-matters-1377531463>
- Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *Ethereum White Paper*, 1-36. https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf
- Buterin, V. (2015, 7 August). *On public and private blockchains*. Ethereum Foundation Blog. <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains>
- Chandler, B. (2023, 11 December). *Decoding the Future: A comprehensive guide to cryptocurrency wallet development*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/decoding-future-comprehensive-guide-cryptocurrency-wallet-chandler-b-blebc/>
- Chen, G., Xu, B., Lu, M., & Chen, N. (2018). Exploring blockchain technology and its potential applications for education. *Smart Learning Environments*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-017-0050-x>
- Cho, S., Lee, K., Cheong, A., No, W.G., & Vasarhelyi, M.A. (2021). Chain of values: Examining the economic impacts of blockchain on the value-added tax system. *Journal of Management Information Systems*, 38(2), 288-313, <https://doi.org/10.1080/07421222.2021.1912912>
- Collosa, A. (2021, 14 June). *Blockchain in tax administrations*. Inter-America Center of Tax Administration. <https://www.ciat.org/blockchain-in-tax-administrations/?lang=en>
- Cong, L. W., & He, Z. (2019). Blockchain disruption and smart contracts. *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1754-1797.
- Custodio, M. (2018, 30 August). *Moscow plans to use ethereum blockchain to increase commerce efficiency*. BlockTribune. <https://blocktribune.com/moscow-plans-to-use-ethereum-blockchain-to-increase-commerce-efficiency/>
- Dai, J., & Vasarhelyi, A., M. (2017). Toward blockchain-based accounting and assurance. *Journal of Information System*, 31(3), 5-21. <https://doi.org/10.2308/isys-51804>
- Davidson, S., De Filippi, P., & Potts, J. (2016, May). *Economics of blockchain* [Conference presentation]. Public Choice Conference, Fort Lauderdale, United States.

- De Filippi, P., & Wrigh, A. (2018). *Blockchain and the law*. Harvard University Press.
- De Filippi, P. (2017, 15 Mart). *What blockchain means fort he sharing economy*. Harvard Business Review Digital Articles. https://bitcryptonews.ru/img/documets/What_Blockchain_Means_for_the_Sharing_Economy.pdf
- De, N. (2021, 19 January). *TEPCO invests in blockchain startup in bid to decentralize systems*. CoinDesk. <https://www.coindesk.com/markets/2018/01/19/tepcos-invests-in-blockchain-startup-in-bid-to-decentralize-systems>
- Deffenti, F. (2018, 29 November). *Blockchain adopted by Brazil's tax authority*. Laws of Brazil. <https://lawsofbrazil.com/blockchain-adopted-by-brazils-tax-authority/>
- Deloitte. (2016). *Blockchain engima, paradox, opportunity* (No. j7969). Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/Innovation/deloitte-uk-blockchain-full-report.pdf>
- Demirhan, H. (2019). Vergi denetiminde yeni bir yaklaşım olarak blok zinciri teknolojisi vergi denetiminde yeni bir yaklaşım. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(18), 857–876. <https://doi.org/10.29029/busbed.569413>
- Dimitropoulou, C., Lazarov, I., & Lawson, Y. (2023). Conceptual legal challenges in tax automation via blockchain technology. *World Tax Journal*, 15(3). <https://doi.org/10.59403/1qmggaj>
- Doğan, U. (2015). Vergi teknolojileri. *Vergi Sorunları Dergisi*, (322), 9-40.
- Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Blockchain technology and application: An overview. *PeerJ Computer Science*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1705>
- Dourado, L., Silva, P., Peres, C., & Díaz, D. (2022). Challenges and opportunities for a fiscal blockchain. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences*, 87(1), 117–137. https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/7520
- E-government Kazakhstan. (2025). *Blockchain Project*. Egov. <https://egov.kz/cms/en/robotization/projects-blockchain>

- Emelianova, N. N., & Dementyev, A. A. (2020). Cryptocurrency, taxation and international law: Contemporary aspects, artificial intelligence. E. Popkova & B. Sergi (Ed.), *Anthropogenic nature vs. social origin* içinde (s. 725-731). Advances in Intelligent Systems and Computing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39319-9>
- E-trade for all (2018, 14 May). *Singapore international chamber of commerce launches world's first blockchain-based e-certificate of origin*. E-Trade For All. <https://etradeforall.org/news/singapore-international-chamber-of-commerce-launches-worlds-first-blockchain-based-e-certificate-of-origin>
- Eyal, I., & Sirer, E. G. (2018). Majority is not enough. *Communications of the ACM*, 61(7), 95–102. <https://doi.org/10.1145/3212998>
- FATF. (2014). *Virtual currencies key definitions and potential AML/CFT risks*. FATF, Paris. <https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/reports/Virtual-currency-key-definitions-and-potential-aml-cft-risks.pdf>
- Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.3390/logistics2010002>
- Frankowski, E., Barański, P., & Bronowska, M. (2017). *Blockchain technology and its potential in taxes* (No. 2017-12). Deloitte. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/pl_Blockchain-technology-and-its-potential-in-taxes-2017-EN.PDF
- Freeman Law. (2022). *The united arab emirates and cryptocurrency*. Freeman Law. <https://freemanlaw.com/cryptocurrency/united-arab-emirates/>
- Garzik, J. (2015, 12 April). *Making decentralized economic policy*. WEUSECOINS. <https://www.weusecoins.com/making-decentralized-economic-policy/>
- Gelir İdaresi Başkanlığı. (2018). *E-fatura uygulaması (entegrasyon klavuzu)*. GİB. <https://ebelge.gib.gov.tr/anasayfa.html#>
- Gezer, T. (2023). Vergilendirmede blok zincir teknolojisinin avantaj ve dezavantajları. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (41), 199–212. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.1325266>

- Gerdan, G. (2019). *Blokzincir teknolojisiyle gıda güvenliği ve yumurta sektörü için örnek bir uygulama* (Tez No. 549450) [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Gordon, W. J., & Catalini, C. (2018). Blockchain technology for healthcare: Facilitating the transition to patient-driven interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.06.003>
- Govinsider (2016, 7 June). *Singapore Government builds blockchain system to protect banks*. Govinsider. <https://govinsider.asia/intl-en/article/singapore-government-builds-blockchain-system-to-protect-banks>
- Gries, M. (2022). Blockchain in the tax law processes. L. Michael & R. Risse (Ed.), *Tax law and digitization: How to combine legal tech and tax tech* içinde (s. 37-56). Wolters Kluwer.
- Grigg, I. (2024). Triple entry accounting. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(2), 1-12. <https://doi.org/10.3390/jrfm17020076>
- Guo, H., & Yu, X. (2022). A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain: Research and Applications*, 3(2), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2022.100067>
- Guo, Y., & Liang, C. (2016). Blockchain application and outlook in the banking industry. *Springer*, 2(1), 1-24. <https://doi.org/10.1186/s40854-016-0034-9>
- Gupta, B. B., Mamta, N., Mehla, R., Alhalabi, W., & Alsharif, H. (2022). Blockchain technology with its application in medical and healthcare systems: A survey. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(11), 9798–9832. <https://doi.org/10.1002/int.23014>
- Gülener, S. (2012). Dijital hafızadan silinmeyi istemek: Temel bir insan hakkı olarak “unutulma hakkı”. *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, (102), 219-240. <https://tbbdergisi.barobirlik.org.tr/Dergi/Dergil02/assets/common/downloads/publication.pdf>
- Güneş, I. (2017). Rawls’un adalet anlayışının Amerikan siyaset kuramına ve felsefesine katkısı. *TYB Akademi Dil Edebiyat ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (19), 103-119.
- Haerberli, D., Oesterhelt, S., & Wherlock, A. (2024, 25 October). *Blockchain & cryptocurrency laws and regulations 2025 switzerland*. Global Legal Insights.

<https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/blockchain-cryptocurrency-laws-and-regulations/switzerland/>

- Hanifatunnisa, R., & Rahardjo, B. (2017). Blockchain based e-voting recording system design. *IEEE*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/tssa.2017.8272896>
- Hans, R., Zuber, H., Rizk, A., & Steinmetz, R. (2017, 10-12 August). *Blockchain and smart contracts: Disruptive Technologies for the insurance market* [Conference presentation]. Twenty-Third Americans Conference on Information Systems, Boston, USA.
- He, D., Habermeier, K. F., Leckow, R. B., Haksar, V., Almeida, Y., Kashima, M., Kyriakos-Saad, N., Oura, H., Sedik, T. S., Stetsenko, N., & Yepes, C. V. (2016). Virtual currencies and beyond: Initial considerations. *IMF Staff Discussion Notes*. https://www.imf.org/-/media/Websites/IMF/imported-full-text-pdf/external/pubs/ft/sdn/2016/_sdn1603.ashx
- Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). *2017 global cryptocurrency benchmarking study* (No. 2017-6). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2965436>
- Holotiuk, F., Pisani, F., & Moormann, J. (2017). *The impact of blockchain technology on business models in the payments industry* [Conference presentation]. 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik, St. Gallen, Switzerland.
- Houben, R., & Snyers, A. (2018). *Cryptocurrencies and blockchain: Legal context and implications for financial crime, Money laundering and tax evasion: Study requested by the TAX3 Committee*. European Parliament.
- Ibañez, J. I., Bayer, C. N., Tasca, P., & Xu, J. (2021). *Triple-entry accounting, blockchain and next of kin: Towards a standardization of ledger terminology* (No. 2021-1). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3760220>
- IMF. (2018). *Republic of the marshall islands* (No. 18-271). International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2018/09/10/Republic-of-the-Marshall-Islands-Selected-Issues-46217>
- Investopedia. (2021, 26 June). *Merkle tree in blockchain: What it is and how it works*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/m/merkle-tree.asp>

- İnci, E. (2023). Vergilemede bir dönüşüm: Blockchain temelli vergileme ve Türk vergi sisteminde uygulanabilirliği (Tez No. 832841) [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Jalakas, P. (2018). *Blockchain from public administration perspective: Case of Estonia* (Master's thesis). Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.
- Jezard, A. (2017, 15 December). *2020 Bitcoin will consume more power than the world does today*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2017/12/bitcoin-consume-more-power-than-world-2020/>
- Johnston, S. S., & Lewis, A. (2017). New frontiers: Tax agencies explore blockchain. *Tax Notes International*, 86(9), 16-19.
- Jurgen, G. (2018, 11 December). *Introducing blockchain technology to the world of tax*. Medium. <https://www.taxdialog.gr/wp-content/uploads/2020/09/Introducing-Blockchain-Technology-to-the-world-of-Tax.pdf>
- Karadağ, N. C., & Yakar, S. (2018). Ticari kazancın belirleyicisi olarak “devamlılık”: Türk Ticaret Kanunu ve Gelir Vergisi Kanunu çerçevesinde bir değerlendirme. *Maliye Dergisi*, (174), 372–401. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TXpBek1ETTRPQT09/ticari-kazancin-belirleyicisi-olarak-devamlilik-turk-ticaret-kanunu-ve-gelir-vergisi-kanunu-cercevesinde-bir-degerlendirme>
- Karahan, Ç., & Tüfekci, A. (2019). Blokzincir teknolojisinin iç denetim faaliyetlerine etkileri: Fırsatlar ve tehditler. *Denetim*, 19, 55–72. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TkRJMU56WXdNQT09/blokzincir-teknolojisinin-ic-denetim-faaliyetlerine-etkileri-firsatlar-ve-tehditler>
- Karajovic, M., Kim, H. M., & Laskowski, M. (2019). Thinking outside the block: Projected phases of blockchain integration in the accounting industry. *Australian Accounting Review*, 29(2), 319–330. <https://doi.org/10.1111/auar.12280>
- Kaya, G. D., & Akıncı, K. Y. (2022). Blockchain teknolojisinin sektörlere ve vergilendirme mekanizmalarına etkisi. S. Ağackaya (Ed.), *Blockchain teknolojisi ve uygulamaları* içinde (s. 209-230). Nobel Akademik Yayıncılık.

- Kaye, B. (2016, 24 October). *Major banks mark first-ever international trade using blockchain tech*. REUTERS. <https://www.reuters.com/article/technology/major-banks-mark-first-ever-international-trade-using-blockchain-tech-idUSKCN12O0FI/>
- Khan, B., & Syed, T. (2019, 16-17 November). *Recent progress in blockchain in public finance and taxation* [Conference presentation]. 8th International Conference on Information and Communication Technologies, Karachi, Pakistan. <https://doi.org/10.1109/iciict47744.2019.9001998>
- Kılınç, Y. (2020). Blockchain teknolojisi: Muhasebe ve denetim mesleği açısından bir inceleme. *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 13(3), 989-1011. <https://doi.org/10.29067/muvu.678681>
- Kırbaş, İ. (2018). Blockchain technology and its application areas in near future. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 75–82. <https://doi.org/10.29048/makufebd.365066>
- Kızıl, E. (2019). Blockchain teknolojisinin vergi sistemine katkısı. *Vergi Raporu*, (236). <https://vergiraporu.com.tr/upImage/org/erkan%20kizil038163.pdf>
- Kim, C. (2020, 2 July). *Ethereum 2.0: How it works and why it matters*. CoinDesk. <https://cognizium.io/uploads/resources/file-844047896485.pdf>
- Kim, Y. (2022). Blockchain initiatives for tax administration. *UCLA Law Review*, 69(1), 240-317. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3798136
- Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., Ullah, S., Frecknall-Hughes, J., & Kim, J. (2020). Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how?. *Technological Forecasting & Social Change*, (161), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120254>
- Kirmanoglu, H. (2019). *Kamu ekonomisi analizi*. Beta Yayınevi.
- Kiviat, T. (2015). Beyond bitcoin: Issues in regulating blockchain transactions. *Duke Law Journal*, 65, 569-608. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3305234
- Kivimäki, P. (2018, 26 April). *There is no blockchain technology in X-Road*. Nordic Institute For Interoperability Solutions. <https://www.niis.org/blog/2018/4/26/there-is-no-blockchain-technology-in-the-x-road>

- Knapp, M. (2022, 30 August). *The United States is behind the curve on blockchain*. War on the Rocks. <https://warontherocks.com/2022/08/the-united-states-is-behind-the-curve-on-blockchain/>
- Kokina, J., Mancha. R., & Pachamanova, D. (2017). Blockchain: Emergent industry adoption and implications for accounting. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 14(2), 91-100. <https://doi.org/10.2308/jeta-51911>
- Krishnan, N., R. (2023). *Blockchain: The silver bullet for tax administration?*. Linda Verlag.
- Kumar, A., & Rosenbach, E. (2019, 9 September). *The truth of the dark web*. IMF-F&D Finance & Development Magazine <https://www.imf.org/Publications/fandd/issues/2019/09/the-truth-about-the-dark-web-kumar>
- Kutlu, R. (2022). Blok zincirinin uluslararası ticarete olası etkileri. *Vergi Sorunları Dergisi*. (411), 37-46.
- Lamport, L., Shostak, R., & Pease, M. (1982). The Byzantine Generals Problem. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 4(3), 382-401.
- Ledger Insights. (2019, 14 November). Thai government to use blockchain for VAT refunds, bonds, procurement. <https://www.ledgerinsights.com/thai-government-blockchain-vat-bonds-procurement/>
- Lehman, A. (2016, 20 December). *Building the trust engine*. UBS. <https://www.ubs.com/microsites/news-for-banks/en/products-and-services/2016/building-the-trust-engine.html>
- Leibowitz, J. (2016, 21 May). *Blockchain's big innovation is trust, not money*. CoinDesk. <https://www.coindesk.com/markets/2016/05/21/blockchains-big-innovation-is-trust-not-money/>
- Lenco, M. (2015). *Digital identity as a key enabler for e-government services*. GSMA.
- Lewis, R., McPartland, J., & Ranjan, R. (2017). Blockchain and financial market innovation. *Economic Perspectives*, 41(7), 1-17.
- Li, J., Bao, N. J., Hu, S., Hu, W., & Zerbino, M. (2020). *Digitalization and international tax Dispute Resolution: A window of opportunity for Britacom* (No. 2020-8). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3664039>

- Li, M., Guan, S., & Du, R. (2019). Research on the application of customs supervision on cross-border import e-commerce retail business from the perspective of blockchain. *Advances in Economics, Business and Management Research*, (84), 74-78. <https://doi.org/10.2991/msmi-19.2019.14>
- Mahtani, U. S. (2022). Fraudulent practices and blockchain accounting systems. *Journal of Accounting, Ethics & Public Policy*, 23(1), 97-148. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4036726
- Marian, O. (2020). Blockchain havens and the need for their internationally-coordinated regulation. *Florida Tax Review*, 23(2), 770-807.
- Martino, P. (2021). *Blockchain and banking: How technological innovations are shaping the banking industry*. Palgrave Macmillan.
- Martinovic, I., Kello, L., & Sluganovic, I. (2017). *Blockchains for governmental services: Design principles, applications, and case studies* (No. 2017-7). Centre for Technology & Global Affairs. <https://www.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/2022-03/201712-CTGA-Martinovic%20I-Kello%20L-blockchainsforgovernmentalservices.pdf>
- Mazur, O. (2022). Can blockchain revolutionize tax administration?. *Penn State Law Review*, 127(1), 115-170.
- McDaniel, C. A., & Norberg, H. C. (2019). *Can blockchain technology facilitate international trade?* (No. 2019-5). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3377708>
- Moll, J., & Yiğitbasioğlu, O. (2019). The role of internet-related technologies in shaping the work of accountants: New directions for accounting research. *The British Accounting Review*, 51(6), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2019.04.002>
- Müller, R. (2020a). Blockchain applications in Asian tax administrations. *Asia-Pacific Tax Bulletin*, 26(2), 1-5. <https://doi.org/10.59403/2mm1bn0>
- Müller, R. (2020b). The blockchain technology in transfer pricing- artificial intelligence and further synergies. *International Transfer Pricing Journal*, 27(5), 362-367. <https://doi.org/10.59403/32zp45y>
- Müller, R. (2022). Blockchain tax infrastructure: Building a framework for verified tax identity and tax document management exemplified by vat using blockchain

- technology. L. Michael & R. Risse (Ed.), *Tax law and digitization: How to combine legal tech and tax tech* içinde (s. 95-112). Wolters Kluwer.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. Bitcoin. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nalbantoğlu, S. (2018). Bir temel hak olarak unutulma hakkı. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*, (35), 583-605. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/taad/issue/52647/693627>
- Natarajan, H., Krause, S., & Gradstein, H. (2017). *Distributed ledger technology and Blockchain* (No. 122140). World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/177911513714062215>
- Nemade, A. E., Kadam, S. S., Choudhary, R. N., Fegade, S. S., & Agarwal, K. (2019, 30-31 March). *Blockchain technology used in taxation* [Conference presentation]. *International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking*, Vellore, India. <https://doi.org/10.1109/vitecon.2019.8899652>
- Nguyen, D. C., Pathirana, P. N., Ding, M., & Seneviratne, A. (2019a). Blockchain for secure EHRs sharing of mobile cloud based e-health systems. *IEEE Access*, (7), 66792–66806. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2917555>
- Nguyen, V., Pham, H., Tran, T., Huynh, H. & Nakashima, Y. (2019b, 14-17 May). *Digitizing invoice and managing VAT payment using blockchain smart contract* [Conference presentation]. IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency, Seoul, Korea (South). <https://doi.org/10.1109/BLOC.2019.8751256>
- Niranjanamurthy, M., Nithya, B. N., & Jagannatha, S. (2018). Analysis of blockchain technology: Pros, cons and SWOT. *Springer*, (22), 14743-14757.
- Njugna, B. (2019, 31 October). *Tencent gets green light for blockchain-enabled invoice standard*. Blockchain News. <https://blockchain.news/news/australia-securities-exchange-moves-for-blockchain-technology-chi-x-calls-for-more-regulatory-supervisions>
- Nur, P. (2023). Blockchain technology in terms of preventing VAT loss and evasion. *Legal Mali Hukuk Dergisi*, 19(219), 497-518.
- Nwana H. S., & Ndumu, D. T. (1999). A perspective on software agents research. *The Knowledge Engineering Review*, 14(2), 1-16. <https://doi.org/10.1017/S02698889991420>

- OECD. (2005). *Guidance on tax compliance for business and accounting software* (No. 2005-5). OECD Publishing. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-issues/tax-administration/guidance-on-tax-compliance-for-business-and-accounting-software.pdf>
- OECD. (2017). *Standard for automatic exchange of financial account information in tax matters* (No. 2017-17). OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264267992-en>
- OECD. (2020). *Taxing virtual currencies: An overview of tax treatments and emerging tax policy issues* (No. 2020-14). OECD Publishing. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-issues/tax-policy/flyer-taxing-virtual-currencies-an-overview-of-tax-treatments-and-emerging-tax-policy-issues.pdf>
- OECD. (2022). *Global forum on transparency and exchange of information for tax purposes Finland 2022 (second round): Peer review report on the exchange of information on request, global forum on transparency and exchange of information for tax purposes* (No. 2022-16). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9d732003-en>
- OECD. (2024). *Key concepts and current technical trends in cryptography for policy makers* (No. 2024-20). OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/key-concepts-and-current-technical-trends-in-cryptography-for-policy-makers_29d9fbad-en.html
- Ofori, D. A., Anjarwalla, P., Mwaura, L., Jamnadass, R., Stevenson, P. C., Smith, P., & Slaton, N. (2020, 25 March). *Smart money leads the way to more customer-friendly and transparent services*. Tietoevry. <https://www.tietoevry.com/en/newsroom/all-news-and-releases/other-news/2020/03/smart-money-leads-the-way-to-more-customer-friendly-and-transparent-services/>
- Omar, A. A., Bhuiyan, M. Z. A., Basu, A., Kiyomoto, S., & Rahman, M. S. (2019). Privacy-friendly platform for healthcare data in cloud based on blockchain environment. *Future Generation Computer Systems*, (95), 511–521. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.044>

- Owens, J., & Hodzic, S. (2022). Blockchain technology: Potential for digital tax administration. *Intertax*, 50(11), 813-823. <https://doi.org/10.54648/taxi2022087>
- Ölçer, S. (2019). Vergisel işlemlerin dijital dönüşümü sürecinde blockchain teknolojisinin rolü. *Vergi Raporu*, (236), 284-301.
- Öncel, M., Kumrullu, A., Çağan, N., & Göker, C. (2024). *Vergi hukuku*. Turhan Kitabevi.
- Özbek, B. (2021). Gayrimenkul satış kazançlarının vergilendirilmesi. *İş ve Hayat Dergisi*, 14(193), 109–117.
- Özdoğan, B., & Karğın, S. (2018). Blok zinciri teknolojisinin muhasebe ve finans alanlarına yönelik yansımaları ve beklentiler. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (80), 161–176. <https://doi.org/10.25095/mufad.465928>
- Öztürk, M., & Yegen, B. (2024). Vergi Usul Kanunu uyarınca tutulması gereken defterlerde dijital dönüşüm: E-defter ve defter beyan sistemi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 82–104. <https://doi.org/10.47097/piar.1447443>
- Pereira, J., Tavalae, M. M., & Ozalp, H. (2019). Blockchain-based platforms: Decentralized infrastructures and its boundary conditions. *Technological Forecasting & Social Change*, (146), 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.030>
- Peters, G. W., & Panayi, E. (2015). *Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of Money* (No. 2015-11), SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2692487>
- Pollock, D. (2018, 9 August). *Which countries are best to start blockchain projects?*. Cointelegraph. <https://cointelegraph.com/news/which-countries-are-best-to-start-blockchain-projects>
- Popper, N. (2015, 15 May). *Decoding the enigma of Satoshi Nakamoto and the birth of Bitcoin*. New York Times. <https://www.nytimes.com/2015/05/17/business/decoding-the-enigma-of-satoshi-nakamoto-and-the-birth-of-bitcoin.html>
- Post, D., & Cipollini, C. (2023). Fundamental elements of a Blockchain-based tax system: Governance, legal and technology aspects. *World Tax Journal*, 15(3), 413-461. <https://doi.org/10.59403/g0knwn>

- PostFinance. (2023, 11 October). *Blockchain hub switzerland: Why switzerland is playing a pioneering role in crypto.* PostFinance. <https://www.postfinance.ch/en/blog/investing-in-simple-terms/blockchain-hub.html>
- Prada-Delgado, M. Á., Baturone, I., Dittmann, G., Jelitto, J., & Kind, A. (2019). PUF-derived IoT identities in a zero-knowledge protocol for blockchain. *Internet of Things*, (9), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100057>
- PwC. (2016). *How blockchain technology could improve the tax system* (No. 2016-12). PwC. <https://www.pwc.co.uk/issues/futuretax/assets/documents/how-blockchain-could-improve-the-tax-system.pdf>
- PwC. (2022). *Tax disruption report 2021 / 2022* (No. 2021-2022). PwC. https://www.pwc.ch/en/publications/2022/tax-disruption-report-2021-2022_EN_web.pdf
- PwC. (2025, 24 January). *Finland corporate-tax administration.* PwC. <https://taxsummaries.pwc.com/finland/corporate/tax-administration>
- Rao, S. (2020). The potential use of AI, blockchain & data analytics in transfer pricing. *Beck.digitax*, 1(2), 118-135.
- Rathod, A. (2018, 26 May). *Fighting tax evasion with blockchain-one Chinese city leads the fight.* Toshitimes. <https://toshitimes.com/fighting-tax-evasion-with-blockchain-one-chinese-city-leads-the-fight/>
- Reid, H. (2014, 17 Kasım). *The future of the bitcoin ecosystem and “trustless trust” – why invested in blockstream.* LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/20141117154558-1213-the-future-of-the-bitcoin-ecosystem-and-trustless-trust-why-i-invested-in-blockstream/>
- Rembert, L. (2019, 29 July). *51% attack.* Privacy Canada. <https://privacycanada.net/cryptocurrency/51-attack/>
- Riggs, W., & Vyas, V. (2022). *Current state of blockchain and cryptocurrency for major US cities* (No. 2022-12). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4337656>
- Rijswijk, L. V., Hermsen, H., & Arendsen, R. (2018, 23-24 April). *Exploring the Future of Taxation: A Blockchain Scenario Study* [Conference presentation]. TARC workshop, Exeter, UK. <https://hdl.handle.net/1887/68772>

- Rivera, R., Robledo, J. G., Larios, V. M., & Avalos, J. M. (2017, 14-17 September). *How digital identity on blockchain can contribute in a smart city environment* [Conference presentation]. International Smart Cities Conference (ISC2), Wuxi, China. <https://doi.org/10.1109/ISC2.2017.8090839>
- Rogaway, P. (2004, 5-7 February). *Nonce-based symmetric encryption* [Conference presentation]. 11th International Workshop, FSE 2004, Delhi, India.
- Rozario, A. M., & Vasarhelyi M. A. (2018). Auditing with smart contracts. *The International Journal of Digital Accounting Research*, (18), 1-27. https://doi.org/10.4192/1577-8517-v18_1
- Saad, M., Spaulding, J., Njilla, L., Kamhoua, C., Shetty, S., Nyang, D., & Mohaisen, A. (2020). Exploring the attack surface of blockchain: A systematic overview. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 22(3), 1-30. <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2975999>
- Sanka, A. I., Irfan, M., Huang, I., & Cheung, R. C. (2021). A survey of breakthrough in blockchain technology: Adoptions, applications, challenges and future research. *Computer Communications*, (169), 179–201. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.12.028>
- Savaşan, F. (2019). *Kamu Ekonomisi*. Dora Yayıncılık.
- Setyowati, M. S., De Utami, N. S., Saragih, A. H., & Hendrawan, A. (2020). Blockchain technology application for value-added tax systems. *Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity*, 6(4), 1-27. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040156>
- Shahzad, B., & Crowcroft, J. (2019). Trustworthy electronic voting using adjusted blockchain technology. *IEEE Access*, (7), 24477–24488. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2895670>
- Sharma, P., Jindal, R., & Borah, M. D. (2021). A review of blockchain-based applications and challenges. *Wireless Personal Communications*, 123(2), 1201–1243. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09176-7>
- Shestak, V., Kiseleva, A., & Kolesnikov, Y. (2021). Taxation issues for digital financial assets. *Social Science Computer Review*, 20(10), 1-11. <https://doi.org/10.1177/08944393211003919>

- Shin, L. (2017, 7 February). *The first government to secure land titles on the bitcoin blockchain expands Project*. Forbes.
<https://www.forbes.com/sites/laurashin/2017/02/07/the-first-government-to-secure-land-titles-on-the-bitcoin-blockchain-expands-project/>
- Shipman, J. (2016, 28 July). *Infographic: Blockchain explained*. PwC.
<https://www.pwc.com.au/digitalpulse/pwc-blockchain-infographic.html>
- Shrier, D., Wu, W., & Pentland, A. (2016). *Blockchain & infrastructure (Identity, data security)* (No. 2016-5). Massachusetts Institute of Technology.
https://www.getsmarter.com/blog/wpcontent/uploads/2017/07/mit_blockchain_and_infrastructure_report.pdf
- Shumin, L. (2019, 1 November). *Shenzhen has issued over 10 million blockchain invoices in past year*. YICAIGLOBAL. <https://www.yicaiglobal.com/news/shenzhen-has-issued-over-10-million-blockchain-invoices-in-past-year>
- Silva, K. (2018, 30 January). *Cayman courting blockchain companies*. Cayman Compass.
<https://www.caymancompass.com/2018/01/30/cayman-courting-blockchain-companies/>
- Smith, S. S. (2020). *Blockchain, artificial intelligence and financial services*. Springer.
- Snow P., Deery B., Lu J., Johnston D., Kirby P., & Factom. (2018, 25 April). *Business processes secured by immutable audit trails*. Factom. https://assets.website-files.com/5bca6108bae718b9ad49a5f9/5bd02670d8a1981ea62cb11f_Factom_Whitepaper_v1.2.pdf
- Suberg, W. (2017, 1 March). *Switzerland launches crypto valley association backed by government*. Cointelegraph. <https://cointelegraph.com/news/switzerland-launches-crypto-valley-association-backed-by-government>
- Sullivan, J. E., & Mizzi, L. Z. (2018, 28 February). *How might blockchain technology revolutionise tax?*. KPMG. <https://kpmg.com/mt/en/home/insights/2017/12/how-might-blockchain-technology-revolutionise-tax.html>
- Summitto (2020, 2 July). *Real-time invoice reporting vs confidential real-time invoice reporting*. Blog Summitto.
https://blog.summitto.com/posts/invoice_reporting_vs_confidential_reporting/
- Swan, M. (2015). *Blockchain*. O'Reilly Media.

- Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. *First Monday*, 2(9). <https://doi.org/10.5210/fm.v2i9.548>
- Şen, H., & Sağbaş, İ. (2023). *Vergi teorisi ve politikası*. Ekin Yayınevi.
- Şenyüz, D., Yüce, M., & Gerçek, A. (2024). *Türk vergi sistemi*. Ekin Yayınevi.
- Şuekinici, C., & Çatıkkaş, Ö. (2020). Blok zinciri teknolojisinin muhasebe ve vergilendirme üzerine etkileri. *Mali Çözüm Dergisi*, 30(162), 51-65.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2025). *2025 yılı Cumhurbaşkanlığı yıllık programı* (No. 32707). Strateji ve Bütçe Başkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/2025-yili-cumhurbaskanligi-yillik-programi-resmi-gazetede-yayimlanmistir/>
- Tan, B. S., & Low, K. Y. (2019). Blockchain as the database engine in the accounting system. *Australian Accounting Review*, 29(2), 312–318. <https://doi.org/10.1111/auar.12278>
- Tapscott, D. (2018, 27 June). *Who would win the world cup of blockchain?*. QUARTZ. <https://qz.com/1315302/who-would-win-the-world-cup-of-blockchain>
- Tapscott, D., & Tapscott A. (2016, 26 May). *How the blockchain will transform everything from banking to government to our identities*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/laurashin/2016/05/26/how-the-blockchain-will-transform-everything-from-banking-to-government-to-our-identities/#21f21dad65d9>
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2022). *Blozincir devrimi* (Alperen Tekin, Çev.), Scala Yayıncılık.
- Tencent. (2018, 8 August). *China's first blockchain e- invoice issued in shenzhen, adding another application scenario to tencent blockchain*. Tencent Web Page. <https://www.tencent.com/en-us/articles/2000006.html>
- Tevetoğlu, M. (2021). Ethereum ve akıllı sözleşmeler. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 12(1), 193–208. <https://doi.org/10.21492/inuhfd.852860>
- The Economist. (2015, 31 October). *The promise of the blockchain: The trust machine*. Economist. <https://www.economist.com/leaders/2015/10/31/the-trust-machine>

- Tian, G. (2020). Blockchain, regtech and their application to transfer pricing in the cloud. *Houston Business and Tax Law Journal*, 21(1), 142–180.
- Tosuner, M., Arıkan, Z., & Bay, H. (2025). *Türk vergi sistemi*. Kanyılmaz Matbaası.
- Tönnissen, S., & Teuteberg, F. (2018). Abbildung von intercompany-verträgen auf der blockchain durch smart contracts eine fallstudie am beispiel von IT-services. *HMD Praxis Der Wirtschaftsinformatik*, 55(6), 1167–1184. <https://doi.org/10.1365/s40702-018-00445-x>
- Transak. (2024, 28 September). *What are the blockchain nodes, how they work, and how to set up*. Transak Team. <https://transak.com/blog/what-are-blockchain-nodes-how-they-work-and-how-to-set-up>
- Treleaven, P., Brown, G. R., & Yang, D. (2017). Blockchain technology in finance. *IEEE Xplore*, 50(9), 14-17. <https://doi.org/10.1109/MC.2017.3571047>
- Tucker, C., & Catalini, C. (2018, 28 June). *What blockchain can't do*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2018/06/what-blockchain-cant-do>
- Tyra, J. M. (2014, 10 February). *Triple entry bookkeeping with bitcoin*. Bitcoinmagazine. <https://bitcoinmagazine.com/business/triple-entry-bookkeeping-bitcoin-1392069656>
- Uysal, T., & Kurt, G. (2018). Muhasebede ve denetimde blok zinciri teknolojisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 467–481. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1005745>
- Välikangas, L. (2019). Put your head on a blockchain?: A few notes on the emergence of blockchain technologies. *Management and Organization Review*, 16(1), 199–201. <https://doi.org/10.1017/mor.2019.68>
- Vasin, P. (2014, 30 June). *Blackcoin's proof-of-stake protocol v2*. Blackcoin. <https://blackcoin.org/blackcoin-pos-protocol-v2-whitepaper.pdf>
- Wagh, S. (2017, 27 March). *Potential application of blockchain in multinational transfer pricing*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/potential-application-blockchain-multinational-transfer-sagar-wagh/>

- Walraevens, B. (2023). Rawls's maximin and optimal taxation theory. *European Journal of the History of Economic Thought*, 30(5), 860–882. <https://doi.org/10.1080/09672567.2023.2248316>
- Wang, X., Zha, X., Ni, W., Liu, R. P., Guo, Y. J., Niu, X., & Zheng, K. (2019). Survey on blockchain for internet of things. *Computer Communications*, (136), 10–29. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.01.006>
- Werbach, K. (2021). *Blokzinciri ve yeni güven mimarisi* (Ahmet Usta, Çev.). Koç Üniversitesi Yayınları.
- White, J. (2019, 24 January). *TP data automation holds the key to cbCR success*. International Tax Review. <https://www.internationaltaxreview.com/article/2a69yvx1bb2vzxzd5tmgw/tp-data-automation-holds-the-key-to-cbcr-success>
- Wijaya, D. A., Liu, J. K., Suwarsono, D. A., & Zhang, P. (2017, 23-25 October). *A new blockchain-based value-added tax system* [Conference presentation]. 11th International Conference, Xi'an, China. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68637-0_28
- Wood, G. (2014). *Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger*. Ethereum Project Yellow Paper. <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- World Economic Forum. (2015). *Deep shift: Technology tipping points and societal impact* (No. 2015-2). World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf
- Wright, A., & De Filipp, P. (2015, 20 March). *Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia*. Social Science Research Networks. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2580664
- WU GTPC. (2017, 17-20 October). *Blockchain 101 for governments* [Conference presentation]. Committee of Experts on International Cooperation in Tax Matters Fifteenth Session, Geneva, Switzerland.
- Xu, Y., & Zhang, Z. (2022). *Blockchain and its implications for tax administration in the People's Republic of China*. Routledge eBooks <https://doi.org/10.4324/9781003196020-9>

- Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). *Blockchain technology overview* (No. 8202). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>
- Yang, J., Hou, H., Li, H., & Zhu, Q. (2021, 22-24 January). *One method for implementing privacy protection of electronic invoices based on blockchain* [Conference presentation]. IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications, ICPECA, Shenyang, China. <https://doi.org/10.1109/icpeca51329.2021.9362671>
- Yavuz, E., Koc, A. K., Cabuk, U. C., & Dalkilic, G. (2018, 22-25 March). *Towards secure e-voting using ethereum blockchain* [Conference presentation]. 6th International Symposium on Digital Forensic and Security, Antalya, Türkiye. <https://doi.org/10.1109/isdfs.2018.835534>
- Yayman, D. (2021). Blockchain in taxation. *Journal of Accounting and Finance*, 21(4), 140-155.
- Yegen, B. (2023). Vergilemede yeni bir yaklaşım: Yapay zekâ. *Politik Ekonomik Kuram*, 7(2), 140-154. <https://doi.org/10.30586/pek.132.9264>
- Yereli, A. B., & Ata, A. Y. (2011). Vergi adaletine ulaşma yöntemleri çerçevesinde fayda ilkesinin teorik açıdan değerlendirilmesi. *Maliye Dergisi*, (161), 21–32. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRJMU1UUTBOQT09/vergi-adaletine-ulasma-yontemleri-cercevesinde-fayda-ilkesinin-teorik-acidan-degerlendirilmesi>
- Yli-Huomo J., Ko D., Choi S., Park S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? A systematic review. *PLoS ONE*, 11(10), 1-27.
- Young, J. (2015, 2 July). *London candidate proposes mayorschain, a blockchain created to 'throw city hall's books wide open*. The CoinTelegraph. <https://cointelegraph.com/news/london-candidate-proposes-mayorschain-a-blockchain-created-to-throw-city-halls-books-wide-open>
- Yue, L., Jungin, H., Shengzhi, Q., & Ruijin, W. (2017, 10-11 August). *Big data model of security sharing based on blockchain* [Conference presentation]. 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications, Chengdu, China.

- Yüce, M., & Akkaya, H. (2023). Vergi kaçakçılığı ile mücadelede yeni bir yaklaşım: Blockchain teknolojisi. F. Giray & G. Çimen (Ed.), *Maliye biliminde yapay zekâ ve makine öğrenimi* içinde (s. 1-18). On İki Levha Yayıncılık.
- Yüce, M., Musayev, G., & Huseynli, N. (2023). *Kamu maliyesi (ders notları)*. Ekin Yayınevi.
- Zamfir, V. (2015, 1 August). *Introducing casper “the friendly ghost”*. Ethereum Foundation Blog. <https://blog.ethereum.org/2015/08/01/introducing-casper-friendly-ghost>
- Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2019). Security and privacy on blockchain. *ACM Computing Surveys*, 52(3), 1-34. <https://doi.org/10.1145/3316481>
- Zhao, H., Bai, P., Peng, Y., & Xu, R. (2018). Efficient key management scheme for health blockchain. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 3(2), 114–118. <https://doi.org/10.1049/trit.2018.0014>
- Zhao, W. (2018, 13 September). *Banks conduct cross-border trades on ibm-powered blockchain*. Coindesk. <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/03/banks-conduct-cross-border-trades-on-ibm-powered-blockchain>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375. <https://doi.org/10.1504/ijwgs.2018.10016848>

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ TEZ DEĞERLENDİRME FORMU		
Öğrencinin Adı Soyadı: Dilruba VİDİNEL		EVET
Kapak		
1	Tez başlığı, tutanaktaki başlıkla aynı mı?	
2	Kapakta ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlı mı?	
3	Kapak format kılavuzdaki kapak formatına uygun mu?	
4	Kapakta yazılan tüm yazılar doğru olarak verilmiş mi?	
İçindekiler		
5	Sayfa numaraları tam verilmiş mi?	
6	Şekil, çizelge vb. listeleri verilmiş mi? Sıralaması doğru mu?	
7	Özet, abstract, giriş, sonuçlar vb. bölümler var mı?	
8	Yazım hataları kontrolü yapıldı mı?	
Giriş		
9	Hazırlanan tezin önemini anlatıyor mu?	
10	İkinci ve üçüncü dereceden başlık içermemeli kuralına uyuldu mu?	
Özet/Abstract		
11	Kılavuza uygun mu?	
12	Ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlı mı?	
13	Özet; tek sayfa, tek aralık, tek paragraf kuralına uygun olarak yazıldı mı?	
14	Bilim kodu, sayfa adedi, anahtar kelimeler ve tez danışmanı yazıldı mı?	
Kaynakça		
15	Kaynakların tamamına metin içinde atıf yapıldı mı?	
16	Kaynak formatı kılavuzdaki kaynak formatına uygun olarak hazırlanmış mı?	
17	Atıf formatı kılavuzdaki atıf formatına uygun mu?	
Atıf Yöntemi APA 7 ☐ CMS ☐ İSNAD ☐		
Genel Değerlendirme		
18	Etik beyan açıklaması okundu, uyuldu ve imzalandı mı?	
19	Kabul/Onay sayfası kılavuzdaki formata uygun olarak düzenlenmiş mi?	
20	Kabul /Onay sayfasında belirtilen oy birliği/oy çokluğu seçeneklerinden uygun olanı savunmayla tutarlı olacak şekilde belirlenmiş mi?	
21	Sayfa kenar boşlukları ve sayfa numaraları kılavuzdaki formatına uygun mu?	
22	Paragraf boşlukları ve metin satır aralığı kılavuza uygun olacak şekilde düzenlenmiş mi?	
23	Başlık yazımları kılavuzdaki başlık formatlarına uygun mu?	
24	Yazı tipi ve boyutu kılavuzdaki yazı tipi ve boyutu formatına uygun mu?	
25	Şekil, çizelge vb. açıklama ve numaralandırmaları kılavuzdaki formata uygun olarak yazılmış mı?	

İmza

Doç. Dr. Orçun AVCI