2025

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren KÖYLÜ



T.C.

ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEĞİN İNŞASI: YEŞİL TAHVİLLERİN BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK İHRAÇ EDİLMESİNE İLİŞKİN ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren KÖYLÜ

ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANS ANA BİLİM DALI

ANKARA, 2025

T.C.
ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEĞİN İNŞASI: YEŞİL TAHVİLLERİN BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK İHRAÇ EDİLMESİNE İLİŞKİN ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren KÖYLÜ

ULUSLARARASI TİCARET VE FİNANS ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Burhan GÜNAY

ANKARA, 2025

ONAY SAYFASI

Eren KÖYLÜ tarafından hazırlanan "Sürdürülebilir Geleceğin İnşası: Yeşil Tahvillerin Blok Zinciri Teknolojisi Kullanılarak İhraç Edilmesine İlişkin Zaman Serisi Analizi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Finans Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi	**Kabul / Red**	**Kurumu**	**İmza**
Doç. Dr. Burhan GÜNAY		Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Şereflikoçhisar Uygulamalı Bilimler Fakültesi Finans ve Bankacılık	
Doç. Dr. Serap Pelin TÜRKOĞLU		Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Berat Cömertoğlu Meslek Yüksek Okulu Yönetim ve Organizasyon	
Doç. Dr. Haşim BAĞCI		Aksaray Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Sağlık Bilişimi ve Teknolojileri	

Tez Savunma Tarihi: 28.10.2025

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Finans Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olması için şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Muhammet Enes KALA
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü V.

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tezde kullanılmış olan tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Tarih (28.10.2025)

EREN KÖYLÜ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli hocam Doç. Dr. Burhan GÜNAY'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte manevi desteğiyle beni motive eden çok değerli ablam Fidan KÖYLÜ ve abim Mahir KÖYLÜ'ye de sonsuz sevgimle teşekkür ederim.

ÖZET

Sürdürülebilir Geleceğin İnşası: Yeşil Tahvillerin Blok Zinciri Teknolojisi Kullanılarak İhraç Edilmesine İlişkin Zaman Serisi Analizi

İklim değişikliği ve küresel ısınma sanayileşme süreci sonrasında insanlığın karşı karşıya olduğu en önemli tehditlerden olmuştur. Endüstriyel üretim için ihtiyaç duyulan enerjinin üretiminde fosil yakıtların kullanılması sera gazlarının salınımına sebebiyet vermiştir. Ortaya çıkan bu tehditler sadece gelecek için değil günümüzün de problemi olmaya, etkilerini tüm dünyada hissettirmeye başlamıştır. Çevrenin korunması ve geleceğimizin de bugünden sağlanabilmesi adına sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi gündeme gelmeye başlamıştır. Bu amaçla ortaya çıkan sürdürülebilir finans enstrümanlarıyla çevre dostu bir gelişmenin önünü açılmaya çalışılmıştır. Bu enstrümanlardan biri olan yeşil tahvil de çevre dostu projelerde kullanılmak üzere gereken finansmanın sağlanması için büyük bir heyecanla ihraç edilmeye başlanmıştır.

Teknolojinin en büyük yeniliklerinden biri olan blok zincirinin çeşitli finansal araçların tokenize edilmesinin önünü açması ve bu araçların çağın gerekliliklerine bu şekilde ayak uydurmasıyla yeşil tahviller için de bir fırsat doğmuştur. Bilinirliğinin az olması, hacim ve likidite yetersizliği sebebiyle istenilen noktaya tam olarak gelemeyen yeşil tahviller için bu teknolojinin içerisinde var olmak bir fırsattır. Sürdürülebilir bir gelecek için yeşil finans araçları ve yeşil tahvillerin önemi düşünüldüğünde bu araçların bilinirliğinin artmasını, gözde araçlar olmasını sağlamak oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı yeşil tahvillerin finansal piyasalarda kendine daha büyük yer edinebilmesini sağlayabilecek olan tokenizasyona dayalı bir analiz sunmaktır. Bunun amaç doğrultusunda tokenize edilmiş emtia varlığı olan altın üzerinden zaman serisi analizleri olan Naive (Basit Devam) Tahmini, 4 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama [MA(4)] ve 12 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama [MA(12)] analizleri yapılmıştır. Çevre dostu bir gelecek ve yeşil finans için son derece önemli bir konumda bulunan ve yazın alanında da araştırmalara yer verilmesi gereken bir varlık olan yeşil tahviller üzerine böyle bir çalışmayla da literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Tahvil, Yeşil Finans, Sürdürülebilir Kalkınma, Blok Zinciri, Gerçek Dünya Varlıkları, Tokenizasyon

ABSTRACT

Building a Sustainable Future: Time Series Analysis of the Issuance of Green Bonds through Blockchain Technology

Climate change and global warming are among the most significant threats facing humanity in the wake of industrialization. The use of fossil fuels in the production of energy required for industrial production has led to the emission of greenhouse gases. These threats are not only a problem for the future but also for the present, and their effects are beginning to be felt around the world. Sustainable development has come to the forefront in order to protect the environment and secure our future today. To this end, sustainable financial instruments have been created to pave the way for environmentally friendly development. One such instrument, green bonds, has been enthusiastically issued to provide the necessary financing for environmentally friendly projects.

One of the greatest innovations in technology, blockchain, has paved the way for the tokenization of various financial instruments, and by adapting these instruments to the requirements of the age, it has also created an opportunity for green bonds. Green bonds, which have not yet reached their desired level due to their low visibility, insufficient volume, and lack of liquidity, have an opportunity to be part of this technology. Considering the importance of green financial instruments and green bonds for a sustainable future, it is crucial to increase the awareness of these instruments and make them popular.

The aim of this study is to present an analysis based on tokenization that could enable green bonds to gain a larger presence in financial markets. To this end, time series analyses were performed on gold, a tokenized commodity asset, using Naive (Simple Continuation) Forecasting, 4-Period Simple Moving Average [MA(4)], and 12-Period Simple Moving Average [MA(12)] analyses. It is also aimed to contribute to the literature with such a study on green bonds, which are in an extremely important position for an environmentally friendly future and green finance and are an asset that should be researched in the field of writing.

Keywords: Green Bonds, Green Finance, Sustainable Development, Blockchain, Real World Assets, Tokenization

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI i
BEYAN ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
TABLOLAR DİZİNİ x
GİRİŞ 1
1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA 4
1.1. İklim Değişikliği ve Küresel Isınma 4
1.1.2 İklim Değişikliğinin Ortaya Çıkış Süreci 4
1.2 İklim Değişikliğinin Finansal Sistem Üzerindeki Riskleri 6
1.2.1 Fiziksel Riskler 7
1.2.2. Geçiş Riskleri 7
1.2.3. Sorumluluk Riskleri 10
1.3. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Sürdürülebilir Kalkınmanın Tarihçesi 11
1.3.1. Sürdürülebilir Kalkınma 11
1.3.2. Paris İklim Anlaşması 16
1.4. Sürdürülebilir Finans 17
1.4.1 Enerji Dönüşümü ve Uyum Süreci 20
2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN FİNANSMANI: YEŞİL FİNANS VE YEŞİL TAHVİLLER 23
2.1. Yeşil Finans 23
2.2. Yeşil Tahviller 30
2.2.1. Yeşil Tahvilin Tanımı 30
2.2.2. Yeşil Tahvilin Tarihsel Gelişimi 31
2.2.3. Yeşil Tahvil İlkeleri 33
2.2.4. Yeşil Tahvillerin İhraç Koşulları ve Kullanım Standartları 34
2.2.5. Yeşil Tahvil Türleri 36

2.2.6. Yeşil Tahvillerin Avantaj ve Dezavantajları 37
3. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ 40
3.1. Blok Zinciri Nedir? 40
3.2. Blok Zinciri ile İlgili Kavramlar 42
3.2.1. Blok 42
3.2.2. Eşten Eşe (Peer to Peer - P2P) Ağ 43
3.2.3. Dağıtık Defter Teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT) 44
3.2.4. Mutabakat Mekanizması 45
3.3. Blok Zincirinin Uygulama Alanları 46
3.4. Blok zincirinin Yeşil Finansta Kullanılması 47
4. YEŞİL TAHVİLLERİN TOKENİZASYONU: ZAMAN SERİSİ ANALİZİ 55
4.1. Literatür Taraması 55
4.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi 73
4.2.1 Tokenizasyon ve RWA 75
4.2.2. RWA Kavramı 76
4.2.3. Tokenizasyon Süreci 89
4.2.4. Yeşil Tahvillere İlişkin Veri Analizleri 91
4.3. Uygulama ve Bulgular 98
4.3.1 Veri Seti, Kapsam ve Sınırlılıklar 98
4.3.2 Kullanılan Tahmin Modelleri 99
4.3.3. Naive (Basit Devam) Tahmini 99
4.3.4. Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(4)) 100
4.3.5. 12 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(12)) 100
4.3.6. Analiz Bulguları 101
4.3.7 Bulguların Değerlendirilmesi 105
SONUÇ VE ÖNERİLER 107
KAYNAKLAR 110

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
IMF	:	Uluslararası Para Fonu
BDDK	:	Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu
BHK	:	Binyıl Kalkınma Hedefleri
BIST	:	Borsa İstanbul
BM	:	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CAIAA	:	Chartered Alternative Investment Analyst Association
CBI	:	Climate Bond Initiative
CBS	:	Climate Bonds Standard
CME	:	Chicago Ticaret Borsası
EFT	:	Borsada İşlem Gören Fonlar
ESG	:	Environmental, Social, Governance
EUGBS	:	Avrupa Birliği Yeşil Tahvil Standardı
GSYİH	:	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
GYO	:	Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı
ICMA	:	Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği
MA	:	Moving Average
OECD	:	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
RWA	:	Real World Assets
SKH	:	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
STK	:	Sivil Toplum Kuruluşları
STO	:	Security Token Offering
UNCED	:	Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı
UNEP	:	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
WCED	:	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
YTİ	:	Yeşil Tahvil İlkeleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Küresel Ortalama Sıcaklık Değişimi 5
Şekil 2. Fosil Yakıt Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri 8
Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri 8
Şekil 4. Fosil Yakıt ve Yenilenebilir Enerji Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri 9
Şekil 5. Sürdürülebilir Finansın Kapsamı 19
Şekil 6. Küresel Yenilenebilir Enerji Yatırımları 20
Şekil 7. Ülkelerin Sürdürülebilirlik Skorları Karşılaştırması 21
Şekil 8. Yeşil Tahvil İhracının Yıllara Göre Değişimi 32
Şekil 9. Blok Zincirinin Çalışma Prensibi 41
Şekil 10. Blok Zincirinin Yapısı 42
Şekil 11. Yeşil Tahvil Alanındaki Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı 56
Şekil 12. Yeşil Tahvil Alanındaki Çalışmaların Ülkelere Göre Dağılımı 62
Şekil 13. Stabil Koinlerin Yıllara Göre Piyasa Değeri 81
Şekil 14. Stabil Koin Piyasasının Varlıklara Göre Dağılımı 82
Şekil 15. RWA Piyasasının Yıllara Göre Piyasa Değeri 83
Şekil 16. RWA Piyasasının İlgili Varlıklara Göre Dağılımı 84
Şekil 17. Tokenize Edilmiş Devlet Tahvillerinin Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı 84
Şekil 18. Tokenize Edilmiş Şirket Bonolarının Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı ... 85
Şekil 19. Tokenize Edilmiş Emtiaların Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı 86
Şekil 20. Emtia Piyasasının İlgili Varlıklara Göre Dağılımı 86
Şekil 21. Küresel Yeşil Tahvil İhraç Hacmi 92
Şekil 22. Yeşil Tahvil İşlem Hacimleri 92
Şekil 23. ABD Yeşil Tahvil Piyasasında Greenium 95
Şekil 24. ABD ve Çin Yeşil Tahvil Yıllık Getiri Oranları 96
Şekil 25. Yeşil Tahvil Piyasasında Likidite Karşılaştırması 98
Şekil 26. Tahmin Modelleri Karşılaştırması 104

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Küresel Sera Gazı Emisyonlarının Tarihsel Gelişimi 6
Tablo 2. Seçilmiş İklim Kaynaklı Afetlerin Ekonomik Etkileri 7
Tablo 3. Yeşil Tahvil Sertifikasyon Kuruluşları ve Değerlendirme Yaklaşımları 35
Tablo 4. Blok Zinciri Teknolojisi ile Bazı Uygulamalar 51
Tablo 5. Blok Zinciri Teknolojisinin Maliyet Tasarrufuna Bir Örnek 53
Tablo 6. Çin Yeşil Tahvillerinin Yıllık ve Ortalama Çeyreklik Getirileri 93
Tablo 7. ABD Yeşil Tahvil Piyasasında Yıllık Ortalama Getiri ve Greenium 94
Tablo 8. Yeşil Tahvil Piyasalarında Bölgesel Likidite ve İşlem Hacmi Karşılaştırması 97
Tablo 9. Altın Piyasasında Geleneksel ve Tokenize Varlıkların İşlem Hacimleri Tahmin Modelleri Sonucu 102

GİRİŞ

Sanayi Devrimi sonrası yaşanan teknolojik gelişmeyle birlikte insan faaliyetlerindeki artışın ve endüstriyel üretimin yaygınlaşmasının beraberinde getirdiği en önemli olumsuz sonuçlarından biri çevre sorunları olmuştur. Sanayileşmeyle birlikte ekonomik kalkınma ve refah artsa da daha fazla enerji üretimine ihtiyaç duyulmuştur. İhtiyaç duyulan bu enerjini üretimi için özellikle kömür, gaz ve petrol gibi fosil yakıtlar kullanılmaya başlanmış, bu da artan emisyona sebep olmuştur. Sera gazlarının bu şekilde doğaya salınımı iklim değişikliği ve küresel ısınma problemini ortaya çıkarmıştır. Bu soruna neden olan sera gazlarının salınımı biyoçeşitliliğin azalmasına ve ekosistemin dengesinin bozulmasına yol açacak derecede yüksek boyutlara ulaşmıştır. Küresel ısınmanın etkileri artık sadece gelecek için önlenmesi gereken bir şey olmaktan çıkmış, aynı zamanda bugünü de etkileyen bir gerçek durumuna gelmiştir. Keza 21. yüzyılın ikinci on yılında dünya üzerindeki sıcaklık ortalamaları sanayileşme öncesi döneme göre ortalama 1,1 santigrat derece daha fazladır. Bu sıcaklık değerlerindeki yükselme kutuplarda buzulların çekilmesine, deniz sıcaklıklarındaki artışa, aşırı yağış ve kasırgalara sebep olmuştur. Tarım, balıkçılık, ormancılık ve turizm gibi özellikle de iklim koşullarından etkilenen sektörlerde ekonomik kayıplar da oluşmaya başlamıştır. Tüm bu süreç hem bireyleri hem de ekosistemi etkileyen geniş çaplı bir olumsuzluklar sarmalına evrilmiştir.

İklim değişikliği ve küresel ısınma sonucunda ortaya çıkan bu kayıp ve zararlar finansal kaynakların kullanılabilirliğinin azalmasına neden olduğu gibi ekonomik büyüme ve kalkınmaya da sekte vuracak bir hale evrilmiştir. Gelişmiş ülkeler karbon emisyonu konusunda zirvede yer alırken gelişmekte olan, sanayileşme süreci devam eden ülkelerde de sera gazı salınımın artarak devam etmesi beklenmektedir. Finansal kaynakların kullanılabilirliğinin de azalması gelişmiş ülkelerin hali hazırdaki durumunu zora sokacağı gibi gelişmekte olan ülkelerin gelişmesinin önünde de engel teşkil etmektedir.

Tüm bu olumsuz gelişmeler 1980'li yıllarda çevrebilimciler tarafından ele alınmaya başlanmış ve sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramları üzerinden tartışmalar

ve çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Geleceğin ihtiyaçlarından ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarının karşılanabilmesi adına sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi ulusal ve uluslararası çeşitli girişim ve görüşmelerle sağlanmaya çalışılmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebilmesi adına ihtiyaç duyulan finansmanın ortaya çıkarılması bu alanda yeni finansal araçların oluşturulmasını sağlamıştır. Bu finansal araçlardan biri olan yeşil tahviller çevre dostu projelerde kullanılmak amacıyla finansman sağlayan araçlar olarak tasarlanmış ve giderek ihracı ve hacmi artan bir araç haline gelmiştir. Giderek ihraç hacmi artan ve sürdürülebilir bir kalkınma ve çevrenin korunması adına elzem olan yeşil tahvillerin gelişmesinin önünde çeşitli engeller de bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı yeşil tahvillerin ihracının ve bu tahvillere olan talebin artırılabilmesi için bir analiz sunmaktır. Bu amaçla yeşil tahvillerin blok zinciri teknolojisi kullanılarak tokenize edilmesinin yeşil tahvil piyasasının gelişiminin önündeki engellerden olan hacim ve likidite problemini çözebileceği üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte hem finans alanında hem de yazın alanında kendine daha fazla yer bulmaya başlayan yeşil tahvillere ilişkin bir analiz de literatüre katkı sağlamak amaçlanmaktadır. Bu amaçlarla finansal varlıkların tokenize edildikten sonraki süreçte finansal anlamda ortaya çıkan sonuçları değerlendirmek adına altın piyasasında geleneksel ve tokenize varlıkların işlem hacimleri zaman serisi analizine dayalı olarak incelenmiştir. Tokenize edilmiş varlıklara ilişkin henüz yeterli veri olmadığı için daha eski bir geçmişi olan net verilerine ulaşılabilen altın, analiz için seçilmiştir. Analiz kapsamında üç farklı finansal varlığa ilişkin veri kullanılmıştır: Chicago Mercantile Exchange (Chicago Ticaret Borsası - CME) üzerinde işlem gören fiziksel altın vadeli kontratları, PAX Gold (PAXG) ve Tether Gold (XAUT) olarak bilinen tokenize altın varlıkları. Çalışmada her bir varlık için günlük ve haftalık işlem hacimleri dikkate alınmış, toplamda beş ayrı zaman serisi oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar tokenize altın piyasasının daha istikrarlı ve büyüyen hacmi işlem hacminin olduğunu göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, bu varlıkların güvenilir alternatifler olduğu ve yatırımcıların bu varlıklara yöneldiğini de ortaya koymuştur.

Çalışmanın ilk bölümünde iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınmaya dair bilgiler verilmiş, bu konudaki endişelerin kaynağına değinilmiştir. Bununla beraber tarihsel olarak sürdürülebilir kalkınma konusunda atılan adımlar ve sürdürülebilir finans kavramı üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde ise sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebilmesi için finansman oluşturan yeşil finans kavramı ele alınmıştır. Ayrıca bu bölümde yeşil tahvillere ilişkin detaylı bilgiler verilmiş, bu tahvillerin türleri, tarihsel gelişimi, ihraç süreci, avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır.

Blok zincirinin ne olduğu ve nasıl çalıştığına ilişkin bilgiler üçüncü bölümde verilmiştir. Bu bölümde blok zinciri teknolojisinin yeşil finans alanında kullanılmasına ilişkin çeşitli verilere de değinilmiştir.

Dördüncü bölümde ise bu alana dair literatür araştırması ve çalışmanın amacı ve önemi belirtilmiştir. Bununla beraber bu bölümde zaman serisi analizine ve bu analizin bulgularına yer verilmiştir.

1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

1.1. İklim Değişikliği ve Küresel Isınma

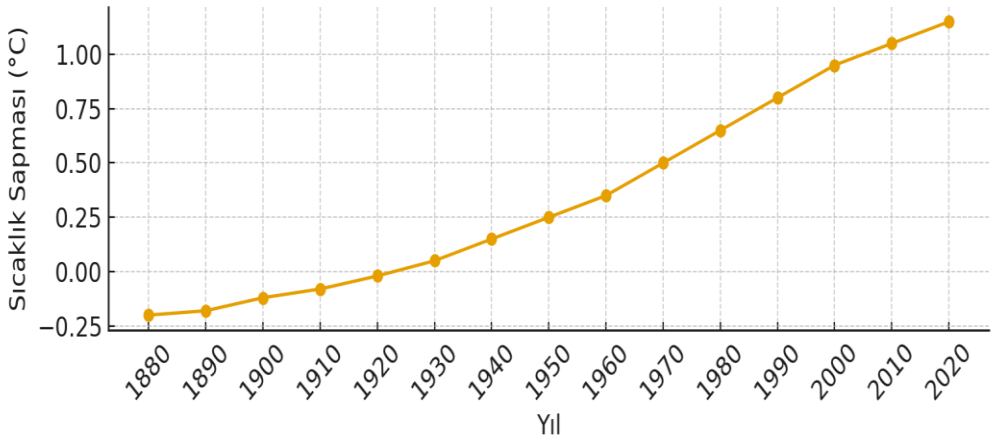
İklim, uzun zaman periyodlarında, yeryüzünün herhangi bir yerinde gözlemlenen hava şartlarının ortalama özellikleri ile bunların oluşma sıklıklarının zamansal olarak dağılımlarının, şiddetli olayların, gözlemlenen uç değerlerin ve tüm değişkenlik şekillerinin bileşimidir (Türkeş 2001). İklim değişikliği ise karşılaştırılabilir zaman periyodlarında gözlemlenen iklim değişiklikleriyle birlikte doğrudan ya da dolaylı bir şekilde küresel atmosfer bileşimini bozan insan faaliyetleri neticesinde iklimde meydana gelen değişiklik'' olarak tanımlanır (BMİDÇS, 1992). Özellikle Sanayi Devrimi sonrası yaşadığımız süreçte dünya nüfus artmış ve bununla beraber kentleşme süreci de hızlanmıştır. Nüfus artışı ve kentleşme ise endüstriyel üretimi zorunlu kılmıştır. Bu birbirini besleyen süreç küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde önemli etkilere sebep olmuştur. Endüstriyel üretimle beraber artan enerji ihtiyacı fosil yakıtların kullanımını artırmış, çevre kirliliği, ormanların yok olması, sera gazlarının doğaya salınımı gibi sonuçlar dünyanın iklimini ciddi oranda etkilemiştir ve bu da küresel ısınmaya sebep olmuştur. Sera gazlarının atmosferdeki birikimi neticesinde yeryüzü sıcaklığının artması olarak tanımlanana küresel ısınma çoğu zaman iklim değişikliği aynı kavramlar olarak kullanılsa da aralarında önemli farklar vardır. Küresel ısınma dünya üzerindeki ortalama sıcaklık değerlerinin artmasını ifade eder. İklim değişikliği ise belirli bir bölgedeki yağış, nem, sıcaklık gibi değerlerdeki değişimler için kullanılır. Başka bir anlatımla küresel ısınma, iklim değişikliğinden farklı olarak en az sıcaklıklarda meydana gelen artış için kullanılan bir kavramdır.

1.1.2 İklim Değişikliğinin Ortaya Çıkış Süreci

İklim değişikliğinin temeli, atmosferdeki sera gazlarının artışına bağlı olarak gezegenin enerji dengesinin bozulmasıdır. Sanayi Devrimi ile başlayan fosil yakıtların yoğun kullanımı, atmosferdeki karbondioksit, metan ve diğer sera gazlarının hızla artmasına neden olmuştur. Bu gazların artışı, güneşten gelen enerjinin bir kısmının atmosfer tarafından tutulmasını artırarak yeryüzünün ortalama sıcaklığında yükselmeye yol açmaktadır (IPCC, 2023).

Tarihsel veriler, sanayi öncesi dönemde atmosferik CO_2 konsantrasyonunun yaklaşık 280 ppm olduğunu, günümüzde ise 420 ppm ve üzerinde olduğunu göstermektedir (NOAA, 2023). Bu artış, küresel sıcaklıklarda ölçülebilir bir yükselişe, buzulların erimesine ve deniz seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunmaktadır. Bilimsel literatür, insan kaynaklı emisyonların iklim sistemini şekillendirdiği konusunda güçlü bir konsensüse sahiptir (IPCC, 2023).

Karbon döngüsündeki değişiklikler, doğal karbon yutaklarının (ormanlar, okyanuslar) emilim kapasitesini de etkilemektedir. Ayrıca arazi kullanımı değişiklikleri, tarım uygulamaları ve endüstriyel süreçler metan ve diazot oksit gibi güçlü sera gazlarının salınımını artırmaktadır. Antroposen kavramı, insan faaliyetlerinin jeolojik ölçekte etkiler yarattığını vurgulamakta ve iklim değişikliğinin insan kaynaklı yönünü tanımlamada kullanışlı bir çerçeve sağlamaktadır (Crutzen, 2002).



Şekil 1. Küresel Ortalama Sıcaklık Değişimi

Kaynak: Nasa Gistemp; IPCC (2023)

Şekil 1, uzun dönemli sıcaklık sapmalarını göstermekte olup özellikle son birkaç on yılda kayda değer bir artış trendi sergilemektedir. İklim değişikliğinin kökenleri, 18. yüzyılın sonlarına, Sanayi Devrimi'ne dayanmaktadır. Buhar makinesi ve kömür enerjisiyle başlayan endüstriyel üretim süreci, atmosfere büyük miktarda karbon dioksit (CO_2) salımına neden olmuştur (Steffen vd, 2015).

Bu eğilim, küresel sıcaklık artışının hızlanmasına yol açmış ve 2015 Paris Anlaşması ile küresel sıcaklık artışının 1,5°C ile sınırlandırılması hedeflenmiştir.

Küresel sıcaklık artışına sebep olan sera gazı emisyonuna sebep olan çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Yıldan yıla gelişen endüstriyel üretim ve bunun için gerekli olan fosil yakıt kullanımı değişiklik göstermiştir. Tablo 1, küresel sera gazı emisyonlarının tarihsel gelişimini göstermektedir.

Tablo 1. Küresel Sera Gazı Emisyonlarının Tarihsel Gelişimi

Dönem	Başlıca Kaynak	Küresel Emisyon ($GtCO_2e$)
1850–1900	Kömür ve demir-çelik sanayi	50
1900–1950	Petrol kullanımı ve ulaşım	120
1950–2000	Elektrik üretimi, otomotiv	250
2000–2020	Sanayi, ulaşım, tarım	400

Kaynak: IPCC (2023), Dünya Bankası (2024)

Tablo 1 incelendiğinde Sanayi Devrimi ile birlikte gelişen kömür ve demir-çelik sanayi küresel emisyona önemli oranda sebep olmaya başlamıştır. 50 $GtCO_2e$ ($GtCO_2e$ açılımıyla gigaton karbondioksit eşdeğeri, sera gazı emisyonlarını ortak bir ölçü biriminde ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. 1 $GtCO_2e$ = 1 milyar ton (10^9 ton) karbondioksit eşdeğeri anlamına gelir) değer sonraki 10 yıllarda petrol kullanımı ve ulaşım sebebiyle 120 $GtCO_2e$'ye çıkmış ve bu değer sürekli artmıştır.

1.2 İklim Değişikliğinin Finansal Sistem Üzerindeki Riskleri

İklim değişikliği ve küresel ısınma, yalnızca çevresel bir sorun değil, aynı zamanda finansal sistemin istikrarını tehdit eden bir ekonomik risktir. Küresel ısınma, aşırı hava olayları, karbon politikaları ve enerji dönüşümü; bankalardan sigorta sektörüne, yatırım fonlarından kamu maliyesine kadar geniş bir yelpazede finansal etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle uluslararası kurumlar iklim risklerini finansal istikrar analizlerinin merkezine yerleştirmiştir.

İklim kaynaklı riskler finansal sistemi çok yönlü olarak etkilemektedir. Genel olarak bu riskler fiziksel riskler, geçiş riskleri ve sorumluluk riskleri olarak sınıflandırılabilir (Battiston vd, 2017). Fiziksel riskler, doğrudan iklim olaylarının neden olduğu hasarları kapsarken; geçiş riskleri düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde ortaya çıkan piyasa, düzenleyici ve teknolojik değişimlerden kaynaklanmaktadır. Sorumluluk riskleri ise şirketlerin çevresel zararlardan dolayı hukuki sorumluluk altına girmesiyle ilgilidir.

1.2.1 Fiziksel Riskler

Fiziksel riskler, iklim değişikliğinin doğrudan etkileriyle ilgilidir: sel, kuraklık, orman yangınları ve kasırgalar gibi olaylar, altyapıya ve üretim tesislerine zarar verir. Bu durum, sigorta sektöründe hasar tazminatlarının artmasına, tarım üretiminde düşüşe ve varlık değerlerinin azalmasına neden olur (Bank of England, 2021).

İklim değişikliğinin sebep olduğu çeşitli afetlerden ötürü ülkelerin katlanmak zorunda olduğu maddi zararlar da ortaya çıkmaktadır. Tablo 2'de bu afetlerin etkili olduğu bölgelere ve tahmini kayıplara yer verilmiştir.

Tablo 2. Seçilmiş İklim Kaynaklı Afetlerin Ekonomik Etkileri

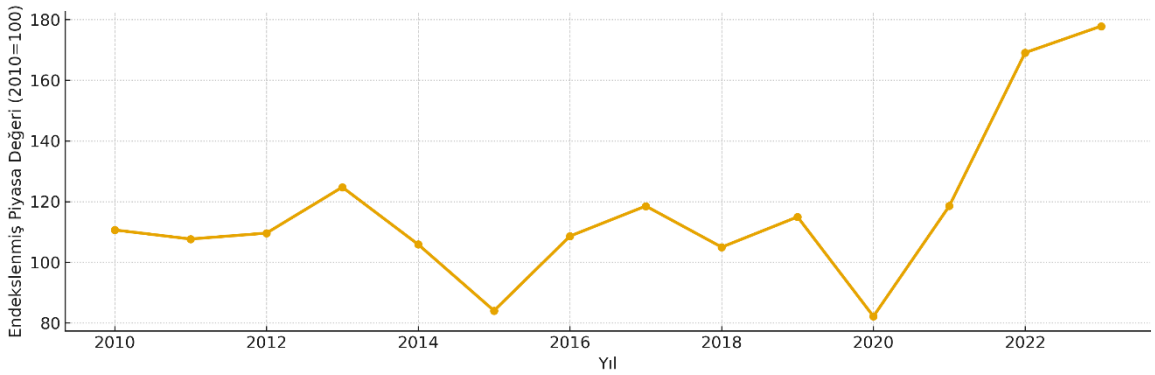
Yıl	Olay Türü	Tahmini Kayıp (Milyar USD)	Bölge
2015	Kuraklık	55	Afrika
2017	Kasırga	125	Kuzey Amerika
2019	Orman Yangınları	80	Avustralya
2021	Sel ve Fırtına	150	Asya
2023	Aşırı Sıcaklık Dalgaları	110	Avrupa

Kaynak: Swiss Re Institute (2023); IMF (2022)

1.2.2. Geçiş Riskleri

Geçiş riskleri, düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde ortaya çıkar. Yeni regülasyonlar, karbon fiyatlandırma mekanizmaları ve yeşil enerji yatırımları, bazı

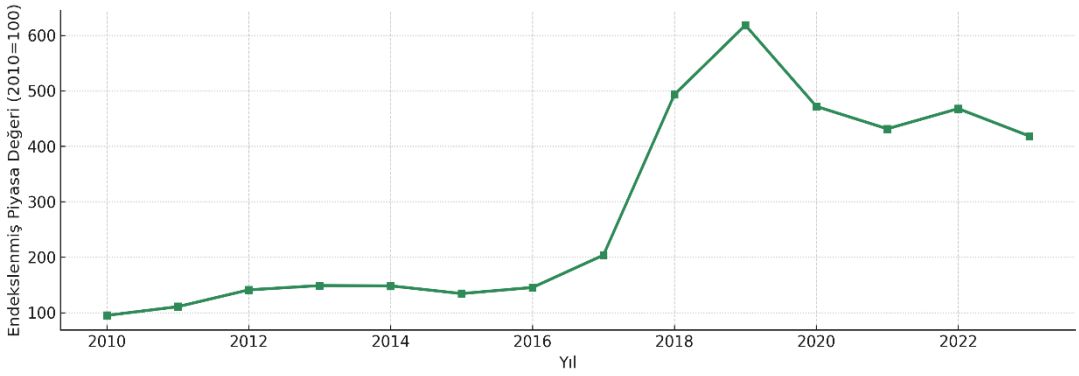
sektörlerin değer kaybetmesine yol açabilir. Özellikle fosil yakıt endüstrileri "stranded assets" (atıl varlık) riskiyle karşı karşıyadır (TCFD, 2017).



Şekil 2. Fosil Yakıt Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri

Kaynak: MSCI (2024)

Şekil 2, MSCI ACWI Select Energy Producers IMI endeksine göre fosil yakıt şirketlerinin endekslenmiş piyasa değerlerinin 2010–2023 dönemindeki değişimini göstermektedir. Küresel anlamda etkili olan petrol fiyatlarındaki artışlar, COVID 19 pandemisi, Rusya-Ukrayna Savaşı vb. gelişmelerle dalgalanan bir yapıda seyreden grafiğin ortaya çıkmasında yenilenebilir enerji ve karbon azaltım politikalarının öne çıkmasının da etkili olduğu söylenebilir. Özellikle 2015 Paris İklim Anlaşması sonrasında fosil yakıt şirketlerine yönelik uzun vadeli yatırım algısını kalıcı biçimde zayıflattığı görülebilir. Ancak kısa vadede (2021–2022) yaşanan enerji krizleri bu yapısal dönüşümü geçici olarak maskelemiştir.

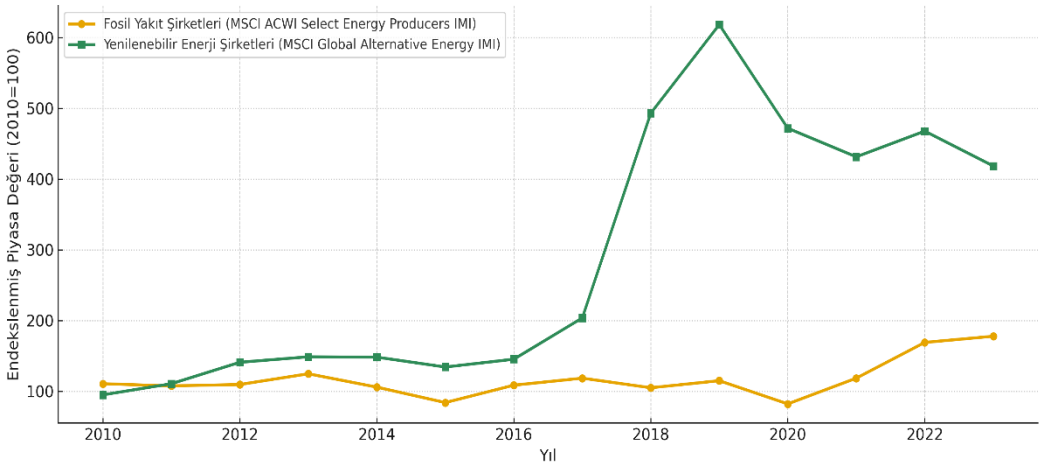


Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri

Kaynak: MSCI (2024)

Şekil 3, MSCI Global Alternative Energy IMI endeksine dayalı olarak ve 2010 yılı "100" kabul edilerek, yenilenebilir enerji şirketlerinin piyasa değerlerinin 2023'e kadar nasıl değiştiğini göstermektedir. Açıkça bu şekil küresel temiz enerji sektörünün sermaye piyasalarındaki büyüme ve dalgalanmalarını özetlemektedir.

2010-2014 arasında sektörün ılımlı bir toparlanma sürecinde olsa da henüz büyük sermaye çekmediği anlaşılmaktadır. 2015 yılındaki Paris İklim Anlaşması sonrası yeşil politikaların etkisin ile temiz enerji yatırımlarına yönelik itici bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu yıllar devlet teşvikleri ve karbon politikalarının da artmaya ve oluşmaya başladığı yıllardır. 2018-2020 yılları arasında patlama dönemini yaşayan sektör yüzde 40 ve yüzde 142 gibi ciddi yıllık artışlar kaydetmiştir. Yenilenebilir enerji üretim maliyetlerinin fosil yakıtların altına düşmesi, ESG fonlarının hızla büyümesi, Elektrikli araç ve batarya yatırımlarının artışı, pandemi dönemindeki "yeşil toparlanma" politikaları bu artışta etkili olmuştur. 2021–2022'de endeks sırasıyla yüzde 24 ve yüzde 8 dolaylarında düşüş göstermiştir. Bunun nedenleri olarak faiz artışlarıyla riskli büyüme hisselerine olan ilginin azalması, tedarik zinciri sorunları, 2022 enerji krizinde fosil yakıt fiyatlarının yeniden yükselmesi gösterilebilir.



Şekil 4. Fosil Yakıt ve Yenilenebilir Enerji Şirketlerinin Endekslenmiş Piyasa Değerleri

Kaynak: MSCI (2024)

Şekil 4'te görüleceği üzere 2010 yılından itibaren dönemsel olarak makaslar açılıp kapansa da genel itibarıyla yenilenebilir enerji şirketlerinin fosil yakıt şirketlerine nazaran daha fazla oranda büyüdüğü, yenilenebilir enerji şirketlerine yönelik yatırım ve desteklerin arttığı sonucuna ulaşılabilir.

Özetle geçiş riskleri, finansal kurumların portföylerinde sektörel yeniden dengelenmeye yol açmakta; varlık fiyatlarında ani düzeltmeler ve likidite sıkışmaları görülebilmektedir. Bu nedenle düzenleyiciler, senaryo analizleri ve stres testleri yoluyla iklim risklerinin makro ile bağlantısını değerlendirmeye başlamıştır (NGFS, 2022).

1.2.3. Sorumluluk Riskleri

Sorumluluk riski, şirketlerin veya kurumların iklim değişikliğine neden olan faaliyetleri, yanlış bilgilendirme veya ihmalleri sebebiyle hukuki sorumluluk altına girmeleri anlamına gelir. Örneğin, emisyon verilerini gizleyen ya da çevresel etkilerini yanlış raporlayan şirketler tazminat ödemek zorunda kalabilir (NGFS, 2019). Sorumluluk riskleri şöyle sıralanabilir:

Doğrudan zarar sorumluluğu: Şirketlerin faaliyetleri doğrudan çevresel veya toplumsal zararlara neden olduğunda ortaya çıkar. Örneğin, bir enerji şirketinin neden olduğu petrol sızıntısı veya karbon salımı sonucu çevre tahribatı oluşursa, bu zarardan tazminat talep edilebilir. Bazı ülkelerde yerel topluluklar veya çevre örgütleri, "iklim zararlarının maliyetini üstlenmeleri gerektiği" gerekçesiyle fosil yakıt şirketlerine dava açmıştır.

Yatırımcıya karşı sorumluluk: Şirketlerin veya finansal kurumların yatırımcılarına karşı şeffaf olmayan iklim verileri sunmaları durumunda gündeme gelir. Örneğin bir şirket, emisyon risklerini raporlarında gizler veya küçümserse, yatırımcılar "yanıltıldıkları" gerekçesiyle dava açabilir. Bu tür davalar özellikle ABD ve Avrupa'da hızla artmaktadır. Bu durum, TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures) gibi şeffaf raporlama çerçevelerinin önemini artırmıştır.

Politika veya regülasyon ihlali sorumluluğu: Hükümetlerin koyduğu iklim hedeflerine uymayan veya gerekli uyum planlarını gerçekleştirmeyen kurumlar, yasal yaptırımlarla karşılaşabilir. Örneğin karbon emisyon sınırını aşan enerji şirketleri cezai yaptırımlara maruz kalabilir. Ayrıca bazı ülkelerde, emisyon azaltımı planlarını uygulamayan kamu kurumlarına karşı bile vatandaş davaları açılmaktadır.

Sorumluluk riskleri doğrudan finansal sistemin istikrarını etkiler. Çünkü büyük tazminatlar şirket bilançolarını zayıflatır, kredi geri ödemelerini riske atar. Sigorta şirketleri, artan iklim davaları nedeniyle yüksek hasar ödemeleri yapmak zorunda kalır. Bankalar ve yatırım fonları, bu tür davalarla karşılaşan şirketlerin hisselerinde ani değer kaybı yaşandığında piyasa riskiyle karşı karşıya kalır.

Tüm bu gelişmeler sürdürülebilir bir gelecek için sürdürülebilir bir üretim ve finansman ortaya konulmasını zorunlu kılmıştır. Bu endişe ve beraberinde gelen tartışmalar bir dizi uluslararası toplantı ve süreçlere yol açmış, bu süreçler de üzerinde uzlaşılabilen kavramların ve eylemlerin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Sürdürülebilir gelecek ve bunun için zorunlu olan sürdürülebilir finansmanın oluşturulması ülkelerin, şirketlerin, ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların daha etkin politikalar izlemesine, bunların sağlanması için de finansal araçların oluşturulması süreçlerine girmesini sağlamıştır.

1.3. Sürdürülebilir Kalkınma Kavramı ve Sürdürülebilir Kalkınmanın Tarihçesi

1.3.1. Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilirlik kavramı farklı şekillerde incelenen ve ele alınan bir kavram olsa da genel itibarıyla sürdürülebilir kalkınma kapsamında incelenir. İlk olarak Birleşmiş Milletler'in (BM) 1987 yılında Ortak Geleceğimiz adlı raporunda incelenen sürdürülebilir kalkınma ilerleyen yıllarda daha fazla kullanılan bir kavram olmuştur. İlgili raporda sürdürülebilir kalkınma 'Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilen kalkınmadır' şeklinde tanımlanır. Bu tanımda geçen önemli bir kavram ihtiyaçtır. Burada kastedilen ihtiyaç aslında yoksulların ihtiyacıdır ve insanın temel ihtiyaçlarını anlatır. Tanımdaki bir diğer önemli nokta ise sınırlılıkların olmasıdır. Şimdinin ve geleceğin ihtiyaçlarının karşılanabilme kabiliyetinin teknoloji ve mevcut ekonomik işleyiş sebebiyle sınırlanmasıdır.

Sürdürülebilir kalkınmanın ortaya çıkması ve ilerleyen zamanlarda uluslararası boyutta ele alınması çeşitli uluslararası konferanslar ve raporlar ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Birleşmiş Milletle İnsan Çevresine Dair Konferans

Uluslararası alanda küresel çevre sorunlarına ilk kez 1972 yılında Birleşmiş Milletler İnsan Çevresine Dair Konferans'ta değinilmiştir. Stockholm Konferansı olarak da bilinen bu konferansta birçok farklı ülke çevre konusunda ilk defa bir araya gelmişlerdir.

26 ilkeyi içeren Stockholm Bildirgesi, çevre sorunlarını uluslararası gündemin ön sıralarına taşımış ve sanayileşmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler arasında ekonomik büyüme, su, hava ve okyanusların kirlenmesi ile küresel refah arasındaki ilişki üzerine bir diyaloğun başlangıcını oluşturmuştur.

Konferans sonucunda, üç ana kategoriden oluşan bir eylem planı benimsenmiştir:

1. Küresel Çevresel Değerlendirme Programı (izleme planı),
2. Çevre yönetimi faaliyetleri,
3. Ulusal ve uluslararası düzeyde yürütülen değerlendirme ve yönetim faaliyetlerini destekleyecek uluslararası tedbirler.

Ayrıca, bu üç ana kategori toplam 109 öneriye ayrılmıştır.

Konferansın en önemli sonuçlarından biri de Birleşmiş Milletlerin çevre sorunlarına yönelik yardımcı olacak olan organı Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) kurulmasıdır. UNEP çevre sorunlarına ilişkin önemli faaliyetlerde bulunan, uluslararası çevre hukuku düzenlemelerinin merkezinde yer alan bir kuruluş haline gelmiştir.

Brundtland Raporu

1982 yılında kurulan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Commission on Environment and Development – WCED), Birleşmiş Milletler iş birliğiyle 1987 yılında "Ortak Geleceğimiz" (Our Common Future) adlı raporu yayımlamıştır. (WCED,1987). Günümüzde Brundtland Raporu olarak anılan bu yayın ismini WCED başkanı ve Norveç Başbakanı olarak görev yapan Gro Harlem Brundtland'dan almıştır. Bu raporda sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez ayrıntılı şekilde ele alınmıştır ve bu anlamda öncü bir rapordur. İlgili raporda giderek artan çevresel sorunlara karşı ekonomik kalkınma ve

çevresel gelişme arasında hayati öneme sahip bir köprü kurulması gerektiği vurgulanmıştır. Bu çözümlerin sürdürülebilir olması insanlık için bir çıkış yolu olarak kabul edilmiştir.

Bu raporun önemli bir özelliği de geleceğe dair endişe taşıyan tüm paydaşları bir araya getirmiş olmasıdır. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu farklı ülkelerde düzenlediği toplantı ve tartışmalarla çeşitli gönüllü kuruluşların, hükümetlerin, uzmanların, uluslararası kuruluşların görüşlerini almış, bunlara raporda yer vermiştir.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı

3–14 Haziran 1992 tarihleri arasında Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde, Dünya Zirvesi olarak da bilinen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Environment and Development – UNCED) düzenlenmiştir. 1972 yılında İsveç'in Stockholm kentinde gerçekleştirilen ilk İnsan Çevre Konferansı'nın 20. yıldönümü olması nedeniyle gerçekleştirilen bu küresel konferans, 179 ülkeden siyasi liderleri, diplomatları, bilim insanlarını, medya temsilcilerini ve sivil toplum kuruluşlarını bir araya getirmiştir. Konferansta, insanların sosyo-ekonomik faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerine odaklanmak amacıyla önemli çalışmalar yürütülmüştür. Aynı dönemde Rio de Janeiro'da, çevre ve sosyo-ekonomik kalkınma konularında dünyanın geleceğine ilişkin vizyonlarını paylaşan çok sayıda sivil toplum kuruluşu temsilcisinin katıldığı "Küresel STK Forumu" da düzenlenmiştir.

Rio de Janeiro Konferansı, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin birbirleriyle ne kadar güçlü biçimde bağlantılı olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, bu unsurların birlikte gelişim gösterdiğini ve bir sektördeki başarının sürdürülebilir olabilmesi için diğer sektörlerde de eş zamanlı eylemler gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Dünya Zirvesi'nin temel amacı, 21. yüzyılda uluslararası iş birliği ve kalkınma politikalarına yön verecek, çevre ve kalkınma konularında kapsamlı bir gündem ile uluslararası eylem için yeni bir plan oluşturmak olmuştur.

Dünya Zirvesi'nde sürdürülebilir kalkınma kavramının önemi de ortaya koyulmaya çalışılmış, genelden özele; uluslararası, bölgesel, ulusal ve yerel düzeyde dünyadaki tüm insanlar için ulaşılabilir bir hedef olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, ihtiyaçlarımızı karşılamada ekonomik, sosyal ve çevresel kaygıları entegre etmenin ve dengelemenin,

gezegendeki insan yaşamının sürdürülmesi için hayati önem taşıdığı ve böylesine bütünleşik bir yaklaşımın mümkün olduğu bu konferansta kabul edilmiştir.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nın en önemli sonuçlarından biri, 21. yüzyılda küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için geleceğe yönelik yatırım stratejileri geliştirilmesini öngören bir eylem programı olan Gündem 21'in kabul edilmesi olmuştur. Gündem 21 belgesinde, sürdürülebilir gelişim kavramının yanı sıra sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir insan yerleşimleri ve sürdürülebilir orman yönetimi gibi konular ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Ayrıca, konferans kapsamında Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu'nun kurulması kararlaştırılmıştır.

Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi

Johannesburg'da 2002 yılında düzenlenen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde, çevreye saygıyı gözeten bir kalkınmayı sağlamak için atılacak bir dizi önlem ve faaliyeti kapsayan hükümler içeren bir Siyasi Bildirge ve Uygulama Planı kabul edilmiştir. Böylece, yüzden fazla devlet ve hükümet başkanı ile on binlerce hükümet temsilcisi ve sivil toplum kuruluşunun katıldığı bu Zirve'de, birkaç gün süren müzakerelerin ardından enerji, tarım, sağlık, biyolojik çeşitlilik, su ve diğer endişe verici alanlarla ilgili kararlar alınmıştır.

Bu konferansta iki temel belge kabul edilmiştir. Bunlar Johannesburg Bildirgesi ve Eylem Planı'dır. Ülkelerin sürdürülebilir gelişmeye dair stratejilerini mümkün olan en kısa sürede oluşturması ve eyleme geçirmesi kararları vurgulanmıştır. Johannesburg Konferansı soyut tartışmaların ötesinde somut projelerin gündeme alınıp tartışıldığı uluslararası bir etkinlik olmuştur.

Birleşmiş Milletler Binyıl Zirvesi

2000 yılında New York'taki Birleşmiş Milletler Genel Merkezi'nde düzenlenen 147 devlet ve hükümet yetkilisinin katıldığı, 189 ulusun temsilcilerinin yer aldığı Binyıl Zirvesi düzenlenmiştir. Bu zirve sonucunda Binyıl Kalkınma Hedefleri (BKH) kabul edilmiştir. Zirve sonunda sekiz hedef belirlenmiştir. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, aşırı yoksulluk ve açlığı ortadan kaldırılması, anne sağlığını iyileştirilmesi, cinsiyet eşitliğinin teşvik edilmesi ve kadınların güçlendirilmesi, çocuk ölüm oranlarının azaltılması, evrensel

ilköğretimi sağlamak, HIV/AIDS, sıtma ve diğer hastalıklarla mücadele edilmesi, kalkınma için küresel bir ortaklık geliştirilmesi şeklinde sıralanan bu sekiz hedefe ülkeler 2015 yılına kadar ulaşma kararı almışlardır.

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı

Rio + 20 olarak da bilinen düzenlenen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı 2012 yılında Rio'da düzenlenmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın hayata geçirilmesi için açık ve pratik adımlar içeren 'İstediğimiz Gelecek' adında kalkınma için bir yol haritası niteliğinde olan bir de sonuç belgesi kabul edilmiştir.

Konferansta ayrıca, yeşil ekonomi politikalarına ilişkin yenilikçi ilkeler benimsenmiş ve sürdürülebilir kalkınmanın finansmanına yönelik kapsamlı bir strateji oluşturulmuştur. Bu yönüyle konferans, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesinde yeşil ekonomi politikalarının gündeme taşınması açısından büyük önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri belirlenirken sürdürülebilir kalkınmanın başarılabilesi için her ülkenin kendi ulusal önceliklerine göre hedef belirlemesi gerektiği ve bu önceliklerin de Zirve sonucunda kabul edilecek rapora göre oluşturulmasının uygun olacağı karara bağlanmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri için hükümetler arası bir sürecin başlatılması önerilmiş, BM Genel Sekreterliği koordinasyonunda bir çalışma grubu oluşturulması kararı alınmıştır.

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Birleşmiş Milletler 2015 yılında, küresel bir eylem çağrısı olan Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini kabul etmiştir. Bu eylem çağrısının, 2030 yılına kadar sürdürülebilir bir kalkınmayı gerçekleştirebilmek için bir yol haritası görevi görmesi amaçlanmıştır.

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 17 küresel çaplı hedeften oluşmaktadır. 2015'te süresi dolan Binyıl Hedeflerinin yerini alan bu hedefler aynı zamanda Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları olarak da bilinmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın güçlendirilmesi ve somut adımlar atılmasının da vurgulandığı bu hedefler sürdürülebilir bir gelecek açısından uluslararası hedefler olarak da dikkate alınır. Sürdürülebilir finansman araçlarının oluşturulmaya başlanması ve ihraçlarının artmasının bu dönemlerden sonra olduğu düşünüldüğünde sürdürülebilir bir gelecek için oldukça önemli hedefler olduğu kabul edilmektedir.

Stockholm Konferansı

Stockholm Konferansı çevre sorunlarının çözümü ve küresel iş birliğini güçlendirmek amacıyla 1972 BM İnsan Çevresi Konferansı'nın 50. Yıl dönümünde Stockholm'de düzenlenmiştir. Stockholm+50 olarak düzenlenen konferansta Sağlıklı Bir Gelecek Herkesin Refahı için Sağlıklı Bir Gezegen – Bizim Sorumluluk, Fırsatımız (Ortak Evimizi Restorasyon: Stockholm +50) Bildirgesi yayınlanmıştır. Bildirgede On Yıllık Eylem bağlamında sürdürülebilir kalkınmanın çevresel boyutunun somut olarak uygulanmasının hızlandırılması vurgulanmıştır.

1.3.2. Paris İklim Anlaşması

Paris İklim Anlaşması, 2015 yılında Fransa'nın Paris kentinde kabul edilen ve 4 Kasım 2016'da yürürlüğe giren küresel bir iklim sözleşmesidir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında imzalanmış olup, şu anda 190'dan fazla ülke tarafından onaylanmış haldedir (The Paris Agreement, 2015).

Anlaşmanın temel hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin oldukça altında tutmak ve 1,5°C ile sınırlandırmak için tüm tarafları bağlayıcı hedeflere yönlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda üç temel ilkeye dayanır:

- **Azaltım:** Karbon salımlarını kademeli olarak azaltmak, 2050'ye kadar net sıfıra yaklaşmak.
- **Uyum:** İklim değişikliğinin etkilerine karşı ekonomik ve sosyal dayanıklılığı artırmak.
- **Finansman:** Gelişmiş ülkelerin, gelişmekte olan ülkelere yıllık en az 100 milyar dolar iklim finansmanı sağlaması.

Paris Anlaşması, iklim politikasını ekonomik politika haline getiren ilk küresel belge olmuştur. Öncesinde "çevre politikası" olarak görülen iklim konusu, bu anlaşmayla birlikte yatırım stratejilerinin, enerji politikalarının, sermaye piyasalarının merkezine taşınmıştır.

Bu durum, karbon fiyatlandırma mekanizmalarının (karbon vergileri, emisyon ticaret sistemleri) yaygınlaşmasını hızlandırmış, yeşil tahviller, ESG fonları ve yenilenebilir enerji yatırımları gibi finansal araçların önünü açmıştır.

Anlaşma sonrasında yenilenebilir enerji endeksleri (örneğin MSCI Global Alternative Energy IMI) güçlü bir büyüme göstermiştir. Buna karşın fosil yakıt şirketlerinin endekslenmiş piyasa değerleri aynı dönemde daha durağan veya gerileyen bir seyir izlerken yenilenebilir enerji şirketleri piyasa değerleri artışa geçmiştir. Kurumsal yatırımcılar ise portföylerinde "net sıfır uyumlu" varlıklara yönelmiştir. Bu nedenle anlaşma, yalnızca bir çevre belgesi değil, küresel finansal dönüşümün dönüm noktası olarak değerlendirilir.

1.4. Sürdürülebilir Finans

Geleneksel finansman, fon ihtiyacının çeşitli kaynaklardan karşılanmasını ve elde edilen fonların kâr elde etmeye yönelik olarak etkin biçimde kullanılması sürecini ifade eder. (Gitman vd. 2015: 5). İklim finansmanı ise BMİDÇS (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi) 'ye göre iklim değişikliğinin etkisini azaltan ve bu etkileri azaltmaya yönelik gerçekleştirilen eylemleri finanse etmek amacıyla harekete geçirilen ve ortaya çıkarılan mali kaynaklar olarak tanımlanabilir. Fakat evrensel olarak kabul gören bir tanım da bulunmamaktadır (Watson, 2023).

Sürdürülebilir finansa geldiğimizde ise bu kavram ulusal ve uluslararası ekonomik kalkınmayı gerçekleştirirken ortaya çıkan tüm faaliyetlerin çevre dostu olarak sürdürülmesi amacıyla finansal araçların kullanılması anlamına gelir (Şimşe ve Tunalı 2022).

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı toplumsal yaşam kalitesini optimize etme anlayışına sahiptir. Ayrıca insani gelişmeyi merkezine oturtan bir yaklaşımı vardır. Kavramın oluşumu 17. yüzyılın ikinci yarısına dayanmaktadır. Hans Carl von Carlowitz tarafından Avrupa kıtasındaki orman kaynaklarının hızla tükendiği sıralarda ilk kez kullanılmıştır.

Carlowitz'in kullandığı "Nachhaltigkeit" kelimesinin sürdürülebilirlik kavramına işaret ettiği anlaşılmaktadır. Ancak bu kavramın uluslararası alanda kabul gören tanımı ilk olarak BM Brundtland raporunda yer almıştır (Gündoğan ve Bitlis, 2018). Bu raporda bu kavram sürdürülebilir kalkınma kavramı altında incelenmiştir.

Sürdürülebilir finans, çevresel, sosyal ve yönetişim (ESG - Environmental, Social, Governance) faktörlerini dikkate alarak yapılan finansal yatırımlar ve finansal kararları ifade eder. Bu finansal yaklaşım, yalnızca finansal kazancı değil, aynı zamanda topluma ve çevreye olan etkileri de göz önünde bulundurur. Sürdürülebilir finans, yatırımcıların yalnızca ekonomik getiri sağlamayı değil, bununla birlikte toplumsal ve çevresel fayda sağlamalarını da hedefler. Bu model, kısa vadeli kazanç yerine uzun vadeli sürdürülebilir büyümeyi ön planda tutar. Geleneksel finans, yalnızca getiri ve finansal risk üzerinde dururken, sürdürülebilir ya da sorumlu finans, bu odak noktasının aksine, finansal, çevresel ce sosyaş getirilerin kombinasyonunu dikkate alarak görünen ve bildiğimiz dar anlamdaki ortaklık modelinden, daha geniş bir perspektifte anlamlı paydaşlık modeline geçişin anahtarıdır (Schoenmaker, 2017).

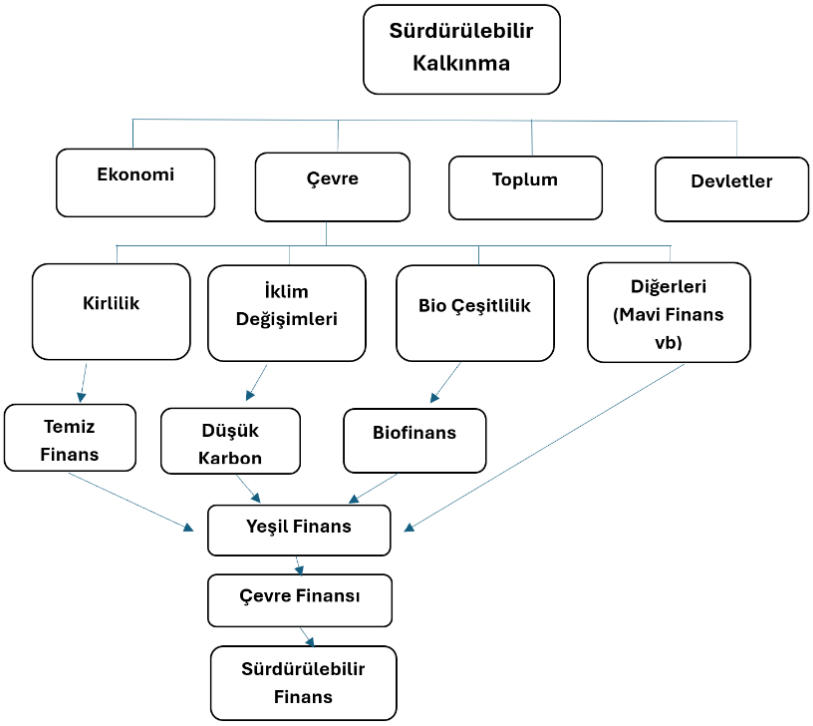
Son yıllarda, birçok finans kuruluşu ve yatırımcının, yatırımlarını çevre dostu ve sosyal sorumluluk taşıyan şirketlere yönlendirmeyi tercih ettiği görülmektedir. Bu, hem çevresel hem de toplumsal etkilere duyarlı bir ekonomik düzenin inşa edilmesine katkıda bulunmaktadır. Sürdürülebilir finans sistemine yatırım yapmak, geleceğin daha adil ve yaşanabilir bir dünya kurmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir finans kavramı, sermaye piyasaları ve ekonomik büyüme ile çevre ve toplum arasındaki dengeyi kurma amacına da hizmet etmektedir.

Geleneksel finansın odağı getiridir ve içinde bulunduğu dünya ve çevreden görece uzak olduğu söylenebilir. Fakat sürdürülebilir finansın çevresel sorunlara yönelik de bir çözüm arayışı içerdiği, şimdiye değil geleceğe yönelik değerler yaratma amacıyla ortaya çıktığı görülebilir.

Sürdürülebilir finansman dünyanın şahit olmaya başladığı ve giderek önemini artıran, bir tehdit haline gelen iklim değişikliği ve küresel ısınma sonucu ortaya çıkan bir finansman anlayışıdır denebilir. Aslında tercihten ziyade sosyal bir sorumluluktur ve sürdürülebilir bir gelecek için de oldukça elzemdir. Sürdürülebilir gelecek ve kalkınma bir

çok farklı paydaşı etkileyerek geniş bir alanda etki gösterse de somut olarak hayata geçirilebilmesi için sürdürülebilir finansman yöntemlerine ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir finansman, sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin hedefleri destekleyen ve çevresel sorunlarının ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmayı amaçlayan yatırımların finanse edilmesi ile ilgili bir kavramdır. Ancak bu sayede daha etkin ve denetlenebilir sonuçlar ortaya koyulabilir. Sadece finansmanın bulunması değil sağlanan bu finansmanın sürdürülebilir bir gelecek adına çevresel projelerde kullanılması ve hatta önceden belirli projelerin çevresel kaygının güdülerek de hayata geçirilmesi anlamında hayati öneme sahiptir.

Bu amaçla gerçekleştirilen geçişti eylemler, girişimler, ilkeler, anlayış ve yaklaşımlar, çevre dostu projelerde kullanılacak yeşil finansman araçlarını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 5. Sürdürülebilir Finansın Kapsamı

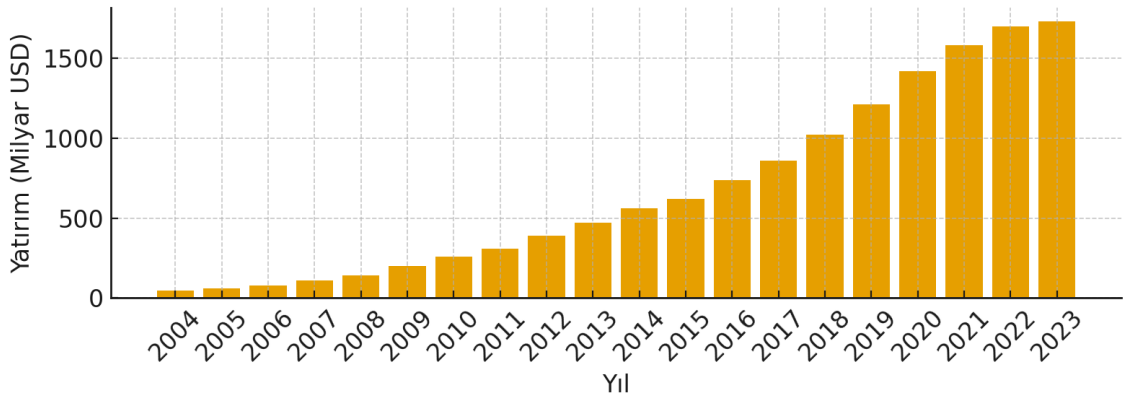
Kaynak: Larsen, M. L. (2023)

İlerleyen yıllarda iklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkilerinin artması bir dizi uluslararası eylemlerin oluşmasına sebep olmuş, çeşitli konferanslar ve raporlar yoluyla ülkelerin hem ulusal hem de uluslararası alanda sürdürülebilir bir gelecek için somut adımlar

atmaya başlaması zorunlu hale gelmiştir. Tüm bu süreçlere yönelik olarak yeşil finans uygulamaları ve araçları ortaya çıkmıştır.

1.4.1 Enerji Dönüşümü ve Uyum Süreci

Enerji dönüşümü, yenilenebilir kaynaklara geçiş, enerji verimliliği ve enerji altyapısının modernizasyonunu içermektedir. Bu dönüşüm, büyük ölçekli sermaye gerektirdiği için finansal piyasaların ve kamu politikalarının koordinasyonunu zorunlu kılmaktadır (IRENA, 2023).



Şekil 6. Küresel Yenilenebilir Enerji Yatırımları

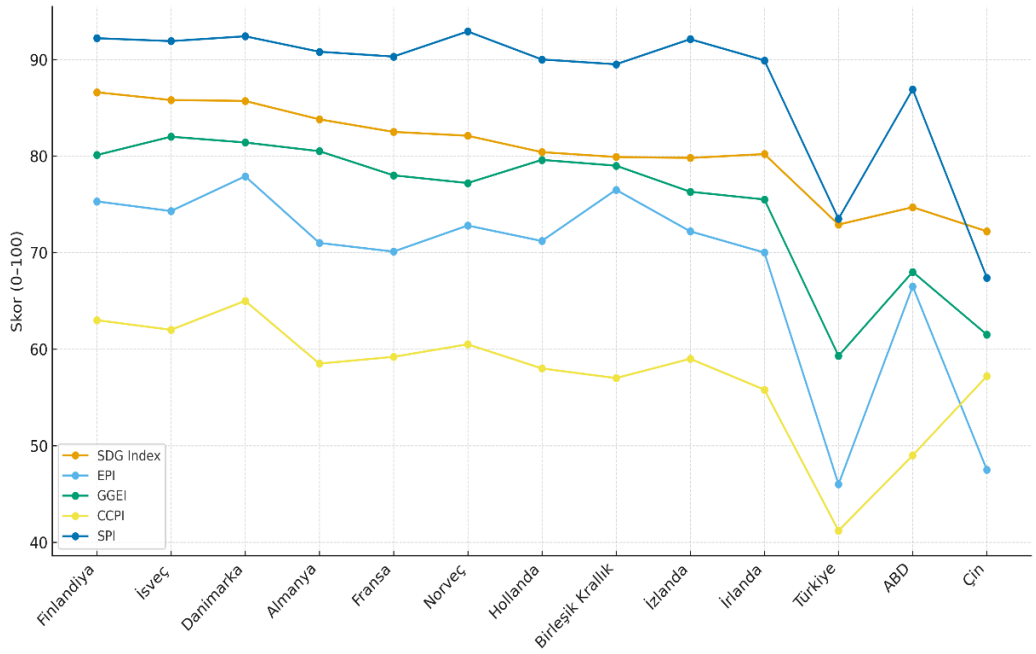
Kaynak: IRENA (2024)

Şekil 6, yenilenebilir enerji yatırımlarının son yirmi yılda küresel ölçekte çok ciddi bir büyüme gösterdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. 2000'lerin başında oldukça sınırlı kalan yatırımlar -çoğunlukla rüzgâr ve güneş enerjisinde pilot projeler düzeyindeyken- günümüzde trilyon dolar ölçeğine ulaşmış bir duruma evrilmiştir. Bu artış hem teknolojik gelişmelerin hem de iklim politikalarının birleşik etkisinin güçlü bir yansıması olarak okunabilir.

Son on yılda ülkeler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini ekonomik ve finansal sistemlerinin merkezine yerleştirmeye başlamışlardır. Bu dönüşümün temelinde ESG yaklaşımı -yatırımların yalnızca finansal getiriyle değil, çevresel, sosyal ve yönetişim etkileriyle de değerlendirilmesi- yer almaktadır.

Başlangıçta kurumsal yatırımcıların gönüllü olarak benimsediği ESG ilkeleri, zamanla ulusal politika ve düzenlemelere entegre edilmiştir. Avrupa Birliği'nin Sürdürülebilir Finans Taksonomisi, ABD'nin SEC iklim raporlama kuralları, Birleşik Krallık ve Japonya'nın iklimle ilişkili finansal beyan düzenlemeleri bu sürecin başlıca örnekleri olarak gösterilebilir.

ESG (Çevresel, Sosyal, Yönetişim) yaklaşımı ülkelerin ekonomik ve finansal politikalarında temel bir referans haline geldikçe, bu alandaki performansı ölçmek ve karşılaştırmak için geliştirilen Sürdürülebilirlik Skorları büyük önem kazanmıştır. Bu skorlar, bir ülkenin veya kurumun karbon emisyonlarını azaltma başarısını, yenilenebilir enerji payını, toplumsal eşitlik, eğitim ve işgücü standartlarını, kurumsal yönetişim kalitesini nicel göstergelere dönüştürmektedir.



Şekil 7. Ülkelerin Sürdürülebilirlik Skorları Karşılaştırması

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Şekil 7, farklı sürdürülebilirlik göstergeleri üzerinden ülkelerin genel performansını karşılaştırmaktadır. SDG Index (Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Endeksi) ülkelerin BM'nin 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefine ne kadar yaklaştığını ölçmekte, EPI (Çevresel Performans Endeksi) hava kalitesi, su kaynakları yönetimi ve iklim politikaları gibi çevresel performans bileşenlerini değerlendirmekte, GGEI (Küresel Yeşil Ekonomi Endeksi)

ekonomik büyümenin çevresel sürdürülebilirlikle uyumlu olup olmadığını göstermekte, CCPI (İklim Değişikliği Performans Endeksi), ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim politikalarını uygulama başarısını ölçmekte ve SPI (Sosyal İlerleme Endeksi), sağlık, eğitim, kişisel özgürlükler ve yaşam kalitesi gibi sosyal göstergeleri kapsamaktadır.

Kuzey Avrupa ülkeleri (özellikle Norveç, Danimarka, Finlandiya, İsveç) hemen her endekste üst sıralarda yer aldığı anlaşılmaktadır. Bu ülkeler sürdürülebilir kalkınma politikalarını uzun vadeli sosyal ve çevresel stratejilerle bütünleştirmiş duruma geçmişlerdir. Almanya, Fransa, Hollanda gibi ülkeler güçlü performanslarını korusa da özellikle CCPI skorlarında küçük düşüşler dikkat çekmektedir. Türkiye ve Çin sürdürülebilirlik göstergelerinde gelişmiş ülkelere göre düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN FİNANSMANI: YEŞİL FİNANS VE YEŞİL TAHVİLLER

2.1. Yeşil Finans

Sürdürülebilir finans kavramı sürdürülebilir bir kalkınmaya ulaşılabilmesi adına izlenen yollardan biridir ve yeşil finansı kavramını da içeren bir olgudur. Yeşil finans, iş dünyasını ve finans çevrelerini çevre, ekosistem ve doğa dostu bir yaklaşımda birleştiren bir olgu olarak görülmekte ve bu şekilde değerlendirilmektedir. Bu yaklaşıma göre geleneksel finans faaliyetlerinden ayrılır; çevre koruma endüstrisini ve çevre faydasını daha fazla gözeten bir anlayıştır. Bir başka ifadeyle yeşil finans ekolojik çevreye karşı duyarlı ve bunu korumayı amaçlayan ve kaynaklardan yararlanmayı sürdürülebilir hale getiren yenilikçi bir finansal modeldir. Bunlara ek olarak yeşil finans iş dünyasını ve finansı çevre dostu faaliyet ve davranışlarda birleştiren ve uyumlaştıran bir fenomendir ve ekonomik kar ile çevre koruma davranışını bütünleştiren ve ikisi tartışmalı olan 'yeşil ve 'finans'ı vurgulayan yeni bir finansal yapıdır (Wan ve Zi, 2016). IFC (2017) (International Finance Corporation - Uluslararası Finans Kurumu) tanımına göre yeşil finans, çevresel faydaların oluşturulabilmesi amacıyla yapılan yatırımların finanslanmasıdır. Yatırım özelinde yapılan bir diğer tanımlamaya göre ise yeşil finans üretim ve tüketimi önemli derecede azaltmayacak şekilde, sera gazı ve karbon emisyonunu azaltıcı yatırımların desteklenmesini ifade eder (Eyraud vd., 2013).

Yeşil finans, kamu yatırımları ile özel sektörün finansal araçlar aracılığıyla geliştirdiği modeller vasıtasıyla sürdürülebilir etkiler yaratan projelere kaynak tahsisini, bu projelerin uygulanmasını ve gerekli altyapının oluşturulmasını kapsayan bütüncül bir yaklaşımdır. Küresel ölçekte insan yaşamının devamlılığı, sürdürülebilirliğin etkin biçimde finanse edilmesini zorunlu kılmaktadır. Ancak, sürdürülebilirlik temelli finansman süreçleri geleneksel finansman yöntemlerinden önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Bu alanda yalnızca sermaye sağlamak yeterli olmayıp, projelerin teknik, çevresel ve hukuki uygunluk kriterlerinin titizlikle izlenmesi gerekmektedir. Finanse edilen projelerin sürdürülebilirlik düzeyinin değerlendirilebilmesi için özgün metrikler, performans göstergeleri ve kapsamlı raporlama mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen finansal araçların çeşitlendirilmesi ve geliştirilmesi de kritik öneme sahiptir.

Sürdürülebilirliğin finansmanı, başlangıçta uluslararası kalkınma bankalarının öncülüğünde şekillenmiş, zamanla ticari bankalar ve leasing şirketleri gibi farklı finansal kurumların katılımıyla genişlemiştir. Günümüzde ise sürdürülebilirlik odaklı finansman, yalnızca çevresel ve toplumsal fayda sağlama amacıyla faaliyet gösteren özel finans kuruluşlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance, 2018).

Günümüzde sürdürülebilir finans alanında birbirinden farklı işleyişlere sahip çok sayıda mekanizmanın kullanıldığı görülmektedir. Bu çeşitlilik, bir yandan ülkelerin ve bölgelerin ekonomik, çevresel ve toplumsal koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan farklı ihtiyaçlardan, diğer yandan ise sürdürülebilirlik kavramına ilişkin tanım ve standartlardaki uyumsuzluklardan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, hâlâ bir finansal yatırımın hangi ölçütler temelinde "yeşil" ya da "sürdürülebilir" olarak nitelendirileceğini belirleyen, uluslararası düzeyde üzerinde mutabık kalınmış kapsamlı bir taksonomi bulunmamaktadır.

Sürdürülebilir bir geleceğin inşası, çevreye duyarlı girişimlerin yaygınlaştırılmasıyla mümkün hale gelmektedir. Bu bağlamda, yeşil finans, söz konusu girişimlerin desteklenmesi amacıyla ortaya çıkan yenilikçi bir finansman modeli olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, su ve sanitasyon hizmetlerinin iyileştirilmesi, ekosistemlerin sürekliliğinin korunması ve güçlendirilmesi, sanayi ve ulaştırma kaynaklı kirliliğin azaltılması, etkin atık yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılması, ormansızlaşmayı önleyici tedbirlerin alınması, karbon ayak izinin (insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan karbondioksit miktarının) azaltılması ve kentlerde iklim kaynaklı doğal afetlere karşı dirençliliğin güçlendirilmesi bu kapsamda değerlendirilebilecek temel faaliyet alanlarıdır (International Trade Center, 2019). Başka bir ifadeyle, yeşil finans; çevresel konuların finansal sistem içerisine entegre edilmesiyle ortaya çıkan bir kavram olup, çoğu zaman "yeşil yatırım" terimiyle eş anlamlı olarak kullanılmaktadır.

Yeşil finans, yalnızca doğrudan yeşil yatırım tanımına giren projeleri değil, aynı zamanda bu yatırımların işletme maliyetlerini de kapsayan daha geniş bir finansman alanını ifade etmektedir. Ayrıca yeşil finansman, proje hazırlık süreçleri, arazi edinimi ve benzeri unsurlar gibi farklı türde finansal zorluklar doğurabilecek maliyetleri de içermektedir (Zadek ve Flynn, 2013). Bununla birlikte, yeşil finans; yeşil iklim fonu, yeşil tahviller ve

yapılandırılmış yeşil fonlar gibi çevresel sürdürülebilirliği desteklemeye yönelik özel finansal araçlar ile bu araçların oluşturduğu finansal sistemin bileşenlerini de kapsamaktadır (Lindenberg, 2014).

Yeşil ekonomiye geçiş sürecinin ayrılmaz bir unsuru olan yeşil finansın temel işlevi, reel sektörü çevresel dönüşüm yönünde teşvik etmek ve yeşil ekonomik dönüşüm için gerekli finansal kaynakların sağlanmasını desteklemektir (BDDK, 2021). Genel olarak finansın temel amacı reel ekonomiye hizmet etmek ve mevcut kaynakları etkin biçimde tahsis etmek iken, yeşil finansın özgün amacı, finansal kurumlar aracılığıyla enerji verimliliği ve çevre koruma odaklı projelerin finansmanına olanak tanımaktır (Wang vd., 2021). Bu doğrultuda yeşil finans, temiz enerji yatırımlarının yaygınlaştırılması ve çevresel açıdan sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

Günümüz koşullarında ekolojik dengesizlikler ve çevresel sorunlar, ekonomik büyümenin sürekliliğini tehdit eden önemli bir darboğaz oluşturmuştur. Bu nedenle, yeşil finansmanın benimsenmesi ve geliştirilmesi, ekonomik dönüşümün sağlanması ve sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi açısından geri dönülmez bir eğilim haline gelmiştir. Yeşil finans, çevresel iyileşmeyi teşvik eden, doğal kaynakların etkin kullanımını destekleyen ve iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlayan bir finansal faaliyet alanı olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, yeşil ekonominin temel bileşenlerinden biri olan yeşil büyümenin gerçekleştirilmesi için yeşil finansın varlığı ve etkin işleyişi zorunlu bir unsur olarak kabul edilmektedir.

Yeşil finansın yakın gelecekte en dinamik ve öncelikli çalışma alanlarından biri haline gelmesinde, ulusal ve uluslararası düzeyde sunulan destek mekanizmaları ve oluşturulan fırsatlar önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, küresel ölçekte artan enerji bağımlılığı, enerji kaynaklarının siyasi ve ekonomik koşullara duyarlılığı ile iklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelen doğal afetlerin sıklığındaki artış, temiz enerjiye yönelimi zorunlu kılmakta ve bu süreçte yeşil finansın stratejik önemini daha da güçlendirmektedir.

Küresel ısınma, iklim değişiklikleri ve enerji kaynaklarının kıtlığı gibi çevreye ve sosyal yaşama duyulan sorumluluklarda artan farkındalıklardan dolayı, yeşil ekonomik büyümeye olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Ancak yeşil ekonomik büyümeye geçiş için,

çevreyi faydalarıyla birlikte koruyan devasa yatırımlara ihtiyaç vardır. Çünkü ekonomik büyüme için sanayinin büyümesi gerekir. Günümüzde sanayide üretimin devamlılığı için gaz, kömür ve petrol gibi yenilenemeyen fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bu durum ekonomik kalkınma ile yeşil büyüme arasında yeni bir dengenin oluşturulması anlamına gelmektedir. Kâr amacı ile hareket eden işletmelerin üretim için gerekli olan mevcut fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih ederek bu konuda yapacakları yatırımlar bu dengenin oluşmasına katkı sağlayabilir. Bu açıdan bakıldığında işletmelerin hem kendileri hem de çevre ve yeşil bir ekonomi adına yapacakları yatırımlar için gerekli olan kaynağa kolay ve teşvik edici bir şekilde ulaşmaları gerekir. Aksi takdirde bu durum büyük maliyetlere neden olabilir. Geleneksel finansal imkânlarının yerine bu tür yatırımlar için gerekli olan kaynak ise, ancak yeşil finans ile sağlanabilir. Fakat yeşil bir ekonomik büyümeye yönelik sürdürülebilir bir kalkınma için gerekli olan yeşil finans kavramı da, finans sektöründe yeni bir olgudur (Madaleno, 2022; Debrah vd., 2022).

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için finansal sektörün amaç ve yaklaşımlarını çevre koruma perspektifinden değerlendirmesini teşvik eden bu yeni kavram, geleneksel finans anlayışından farklı olarak çevrenin, doğal kaynakların ve insan refahının korunmasını temel almaktadır. Yeşil finans, ekonomik faaliyetler ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi gözeterek sermayenin çevresel fayda yaratan yeşil projelere yönlendirilmesini hedeflemektedir (Lee vd., 2023). Diğer bir deyişle, kaynakların etkin kullanımını ön plana çıkararak sürdürülebilir bir ekonomik kalkınma için çevre dostu yatırımların finansmanını sağlayan yeşil finans (Huang, 2022), bir yanda yeşil projelere mali destek sağlarken diğer yandan da teknolojik ilerlemeyi teşvik ederek, hem yeşil büyümeyi hem de sürdürülebilir kalkınmayı kolaylaştıran yeni bir finansal sistem olarak karşımıza çıkar. Bu açıdan, yeşil ekonomik büyümenin ve yapısal dönüşümün önemli bir itici gücü olmasından ötürü yeşil finansın gelişimi, endüstriyel yapının iyileştirilmesini teşvik etmek, yeşil kalkınmayı ve ekolojik dengenin korunmasını sağlamak için stratejik bir harekettir (Wang ve Wang, 2021).

Diğer yandan yeşil finans uzun vadeli kalkınmayı gerçekleştirmek, çevresel istikrarı ve ekolojik dengeyi korumak adına çevre dostu projelere ve kuruluşlara finansal destek vermeyi amaçlar (Zheng vd., 2021). Böylece ekonominin enerji yapısını optimize etmek için, finansal kaynakları verimsiz ve çevreyi kirleten endüstrilerinden daha verimli endüstrilere yönlendirerek, hem endüstriyel gelişmeyi teşvik eder hem de insanların yaşam

kalitesini iyileştirmeyi hedefler (Fang vd., 2022). Ekolojik çevreyi koruyarak daha iyi yaşanabilir bir çevre yaratmak için kamu ve özel kuruluşlar tarafından ulusal ve uluslararası düzeyde gerçekleştirilen tüm girişimlere öncülük eden yeşil finans, sürdürülebilir iş modellerinin geliştirilmesine yönelik ticaret ile ilgili faaliyetleri de destekleyerek, sürdürülebilir sosyal kalkınmayı da teşvik etmeye odaklanır (Ronalda ve Suryanto, 2022; Wang vd., 2022). Sürdürülebilir kalkınma ilkelerine dayalı ekolojik sistem ve üretim modellerinin oluşturulması için mevcut sermayenin kullanılmasını sağlayan bu yeni finansal kavramın (Atamas vd., 2020) birçok tanımı vardır. Geniş anlamda, yeşil finans; kamu, özel ve kâr amacı gütmeyen sektörlerden fosil yakıtları aşamalı olarak ortadan kaldırmak ve yenilenebilir enerjileri teşvik etmek için tasarlanmış sürdürülebilir kalkınma projelerine yönelik mali akışları (örneğin, kredi, tahviller, sigorta, yatırımlar vb.) içerir (Songran Li ve Shao, 2022). G20 Yeşil Finans Çalışma Grubu yeşil finansmanı, 'Çevresel olarak sürdürülebilir kalkınma için gerekli olan hava, su, toprak kirliliği ve sera gazı emisyonlarındaki azalmaları, yeşil enerji verimliliğinin arttırılması, iklim değişikliğinin hafifletilmesi veya önlenmesi gibi çevreselfaydalar sağlayan yatırımların finansmanı' olarak tanımlar (Grup, 2016). Kuloğlu ve Öncel'e (2015) göre ise yeşil finansman; çevreye duyarlı, ekolojik dengeyi koruyan veya çevreye verilen zararı en aza indiren ürün ve projelerin uygulanmasını teşvik etmek amacıyla, finansal kuruluşlar tarafından uygun koşullar sunularak bu ürün ve projelerin finanse edilmesi ile ilgilidir.

Günümüzde yapılan akademik çalışmalarda yeşil finans bazen de; sürdürülebilir finans, ekolojik (çevre) finans ve iklim finansmanı olarak da adlandırılmaktadır. Sürdürülebilir finans ile; çevreyi ilgilendiren her türlü finansal hizmet, yatırım çözümleri ve toplum için faydalı olabilecek uzun vadeli yatırımlar anlatılmaya çalışılmaktadır. Ekolojik finansman ile de; çevresel teşviklerin finansmanında kullanılan araçlar, işletmelerin çevre üzerindeki etkilerinin kârlılıklarını etkilemeden iyileştirilmesi, toplumun yaşam kalitesinin arttırılması adına yapılacak yatırımlar ifade edilmektedir (Aslan, 2021). Yeşil finans ile iklim finansmanı arasında ayrım yapmak genellikle zor olsa da, aralarında küçük tanımsal farklılıklar vardır. Uluslararası Finans Kurumu (International Finance Corporation-IFC)'na göre yeşil finans, "çevresel faydalar sağlayan yatırımların finansmanı" olarak tanımlanırken, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC)'ne göre iklim finansmanı, "Kamu, özel ve alternatif finansman kaynaklarından sağlanan yerel, ulusal veya ulus ötesi finansman" olarak tanımlanmaktadır. Uluslararası bu iki tanımda ustaca

yapılan farklılıklar olsa da, her iki tanımın merkezinde, iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma ile mücadele için gerekli olan finansmana odaklanmıştır (Zhang vd., 2019; Madaleno vd., 2022).

Sonuç olarak yeşil finans, iklim finansmanını da içerir ancak, bununla sınırlı kalmayıp aynı zamanda, endüstriyel kirlilik kontrolü, biyolojik çeşitliliğin korunması gibi daha geniş bir yelpazedeki diğer çevresel hedeflere de atıfta bulunur (Nawaz vd., 2021). Bu nedenle yeşil finans sadece çevresel riskler çerçevesinde hareket ederken, sürdürülebilir finans sürdürülebilir ekonomik aktiviteleri hayata geçirmek için çevresel, sosyal ve yönetim kriterlerini de değerlendirmeye almaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir finans kavramı geniş anlamıyla; Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen sürdürülebilirlik boyutlarından en az birinin gerçekleştirilmesine veya iyileştirilmesine katkı sağlayan sektörleri ya da faaliyetleri desteklemek amacıyla yapılan yatırımlarda kullanılan finansal araçlar olarak tanımlanabilir (Arslan, 2022).

Son zamanlarda iklim dostu yeşil yatırımların hızlı büyümesinin nedeni ise, Paris İklim Anlaşması, Avrupa Yeşil Anlaşması ve gelişmiş ülkelerde karbon vergisinin uygulanmasıdır (Arif vd., 2021). Bu yatırımların çoğu, doğrudan karbon emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek için çevre dostu ve iklim odaklı projelerden oluşmaktadır. Bu projeleri: (1) yenilenebilir enerji, (2) enerji verimliliği, (3) kirliliğin önlenmesi ve kontrolü, (4) yaşayan doğal kaynakların ve arazi kullanımının çevresel açıdan sürdürülebilir yönetimi, (5) su ve karasal biyolojik çeşitliliğin korunması, (6) temiz ulaşım, (7) sürdürülebilir su ve atık su yönetimi, (8) iklim değişikliğine uyum, (9) ekolojik verimliliğe ve/veya döngüsel ekonomiye uyarlanmış ürünler, üretim teknolojileri ve süreçleri ve (10) ulusal veya uluslararası kabul görmüş standartları veya sertifikaları karşılayan yeşil binalar, olarak sayabiliriz (Tolliver vd., 2020).

Yeşil finansın birincil hedefi, yukarıda sayılan projelere fon sağlayarak doğal çevreyi koruma, kirliliği ortadan kaldırma ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektir (Chang vd., 2022). Çünkü temelde yeşil finans, çevre korumanın ana itici gücü olduğundan, çevre dostu projelerin ve yatırımların gerçekleşmesi için yeşil tahvil, yeşil kredi, yeşil sukuk gibi çeşitli finansman araçlarını ve diğer finansal hizmetleri sağlamayı hedefler (Ren vd., 2020). Yeşil büyüme ve sürdürülebilirlik adına yapılacak sosyal, çevresel ve

ekonomik projelerin finansman ihtiyacını karşılayabilecek olan yeşil finans, aşağıda belirtilen bazı gelişmelere de fayda sağlayabilir (Lee, vd., 2023).

Bu açıdan yeşil finans:

- Sosyal-ekonomik faaliyetleri teşvik etmek için endüstriyel dönüşümü ve yeşil üretim için yeterli fonları ve yüksek kaliteli finansal hizmetleri etkili bir şekilde sunabilir.
- Yenilenebilir enerji geçişini teşvik ederek düşük karbonlu bir toplum ve ekonomiye geçişi hızlandırabilir.
- Sosyal ve çevresel riskleri doğru bir şekilde tanımlayabilir ve kontrol edebilir ayrıca çeşitlendirilmiş yatırım imkânları ile bu riskleri azaltabilir.
- Gelecekteki ekonomik kalkınmanın istikrarı için sosyal ve çevresel riskleri azaltabilir.
- Sürdürülebilirlik kavramına ilişkin farklı yorumlar ve yeni görüşler geliştirerek uzun vadeli sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı teşvik edebilir ve bir dereceye kadar gelecekteki ekonomik beklentileri iyileştirerek yeşil sektöre yatırım yapan yatırımcıların güvenini artırabilir ve böylece gelecekteki teknolojiyi geliştirmek için temel bir itici güç haline gelebilir.
- Yenilenebilir enerji için üstün finansal destek ve hizmetler sağlayarak fosil enerjiden yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik edebilir.
- Yeşil farkındalığı geliştirmek adına, eğitim kurumlarında konuyla ilgili bilgilendirme ve derslerin verilmesini teşvik ederek, öğrencilerde, çevrenin korunmasına yönelik yurttaşlık bilincinin oluşturulmasına yardımcı olabilir.

Yukarıda belirtildiği gibi yeşil finansman, özellikle çevre koruma, enerji tasarrufu ve çevre ile ilgili diğer projeleri finanse etmek için hayati bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Çevresel ve ekonomik büyümeyle ilgili hususları finanse etmenin ve yönetmenin bu modern ve yeni sistemi, ülke ekonomilerinin yeşil bir temelde büyüyebileceğine dair küresel bir dünyanın yolunu açmaktadır. Basitçe ifade etmek gerekirse, yeşil finans, dünya çapında sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınmayı teşvik etmenin en ileri ve çağdaş bir yöntemidir (Mngumi vd., 2022).

2.2. Yeşil Tahviller

2.2.1. Yeşil Tahvilin Tanımı

Yeşil tahviller, çevresel faydalar sağlayan yeşil projeleri finanse etmek için kullanılan borçlanma araçlarıdır (Jun vd., 2016). Sürdürülebilir bir gelecek ve finansman amacıyla ortaya çıkan bu finansal varlıklar geleneksel tahvillerden ve diğer yeşil finansman araçlarından farklıdır. Yeşil tahvillerde temel farklılık, bu tahvillerden sağlanan finansmanın, yatırımcılara çevresel duyarlılığa uygun projelerde kullanılacağının garanti edilmesidir. (Ketterer vd., 2019).

Yeşil Tahvil Çalışma Grubu, yeşil tahvili; ihraççının elde ettiği gelirlerin iklim ve/veya çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik olarak — ringfencing, doğrudan proje teşhiri veya menkul kıymetleştirme yoluyla — kullanılacağını beyan ettiği tahvil türü olarak tanımlamaktadır. (Bank of America, Merrill Lynch ve Citi, 2013).

Yeşil tahvil piyasası, ekolojik sürdürülebilirliği destekleyen proje finansman modellerinde borç piyasalarının etkileşimde bulunduğu önemli bir rol üstlenmiş ve bu süreçte piyasanın gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Yeşil Tahvil İlkeleri (YTİ) çerçevesinde oluşturulan raporlama, şeffaflık ve açıklanabilirlik temelli yapılar, yatırımcılara cazip fırsatlar sunmakta ve bilgi akışını sürekli kılan güvenilir bir finansal ortam yaratmaktadır. Yeşil tahviller, YTİ'nin tamamlayıcı nitelikteki dört temel unsuru üzerine yapılandırılmıştır. Aktarılan gelirler, kısmen ya da tamamen yeni projelerin finansmanında kullanılabildiği gibi, mevcut projelerin geliştirilmesi veya yeniden finanse edilmesinde de değerlendirilebilmektedir. Söz konusu dört temel unsur ise fonların kullandırılma koşulları, proje değerlendirme ve seçme süreci, gelir yönetimi ve raporlama bileşenlerinden oluşmaktadır (ICMA, 2018).

Yeşil tahvillerin odaklandığı temel alanlar; yenilenebilir enerji yatırımları, enerji verimliliğini artıran üretim ve taşımacılık faaliyetleri, akıllı şebeke sistemleri, enerji üretim ve depolama tesisleri, kirliliğin azaltılması ve önlenmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesi, doğal kaynakların ve toprakların sürdürülebilir yönetimi (biyolojik tarım, sürdürülebilir balıkçılık ve tarım uygulamaları, ormanlaştırma ve ağaçlandırma faaliyetleri), karasal ve su altı ekosistemlerinin korunması, sürdürülebilir temiz su kaynaklarının yönetimi

ile atık su arıtımı, eko-verimli üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve ulusal ile uluslararası standartlara uygun yeşil bina projeleridir. Bu kapsamda yeşil tahviller, çevresel etkisi yüksek projelere yönelmekte ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH) ile Paris Anlaşması çerçevesinde tanımlanan ekolojik önceliklerle uyum göstermektedir.

Yeşil tahviller, tüm yeşil projelerin finansmanında kullanılabilmekle birlikte, özellikle yenilenebilir enerji yatırımları ve enerji verimliliği projelerinde yoğunlaşmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale gelmesiyle birlikte çevresel farkındalık artmakta, bu durum da yeşil tahvillere yönelik yatırımcı ilgisini güçlendirmektedir. Yeşil tahviller, yatırımcılara hem çevresel açıdan fayda sağlayan projelerin finansmanını destekleme hem de finansal getiriler elde etme olanağı sunan çift yönlü bir yatırım aracı niteliği taşımaktadır (Kandır ve Yakar, 2017).

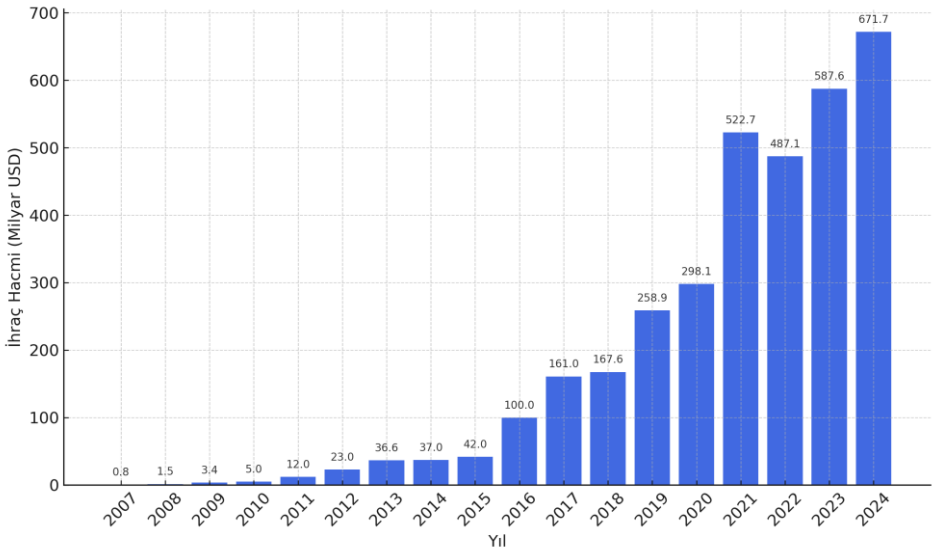
2.2.2. Yeşil Tahvilin Tarihsel Gelişimi

İlk yeşil tahvil 2007 yılında Avrupa Merkez Bankası tarafından "iklim farkındalık tahvili" (climate awareness bond) adıyla ihraç edilmiştir (CAIAA, 2016). 600 milyon euro değerinde olan bu tahvilin arz edilmesinden elde edilen gelir yenilenebilir enerji projelerine finansal destek sağlamak için kullanılmıştır.

2008 yılında, ilerleyen zamanlarda da bu isimle bilinecek adıyla, Dünya Bankası tarafından ihraç edilen "yeşil tahvil" (green bond) sürdürülebilir çevre ve finansman politika ve uygulamalarının bir parçası olmaya ve literatürde de çalışma konusu olmaya başlamıştır.

Yeşil tahvil piyasasının gelişimi, 2009 yılında ABD Hazine Bakanlığı ve Avrupa Yatırım Bankası tarafından gerçekleştirilen ilk yeşil tahvil ihraçlarıyla ivme kazanmıştır. Bu ihraçların ardından, 2013 yılında özel sektör tarafından ilk yeşil tahvil, Fransız elektrik şirketi Electricite de France tarafından 1,4 milyar avro tutarında gerçekleştirilmiş ve elde edilen gelir yenilenebilir enerji projelerinin finansmanında kullanılmıştır. Aynı dönemde, Bank of America ve İsveçli emlak şirketi Vasakronan da kendi yeşil tahvil ihraçlarını yaparak piyasanın genişlemesine katkıda bulunmuştur. 2016 yılında ise Polonya, ilk yeşil devlet tahvilini ihraç eden ülke olarak bu alanda öncü bir konuma yükselmiştir. (Özcan ve Durmuşoğlu 2022; Kandır ve Yakar 2017).

Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği (ICMA) 2014 yılında Yeşil Tahvil İlkeleri'ni yayınlanmış, bu tarihten itibaren firmalar, ulusal bankalar ve merkez bankaları tarafından ihraç edilmeye başlanmıştır. Yeşil tahvil piyasasında önemli artışların da başladığı bu tarih yeşil tahvil piyasasının büyümesi ve gelişmesi için önemli bir dönüm noktası olmuştur. İhraç rakamları Şekil 8'de görüleceği üzere 2015, 2016, 2017 tarihlerinde sırasıyla 42, 100 ve 161 milyar dolara ulaşarak artan bir ivme yakalamıştır.



Şekil 8. Yeşil Tahvil İhracının Yıllara Göre Değişimi

Kaynak: Climate Bond Initiative verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur*

Türkiye'deki ilk yeşil tahvil Türkiye Sınai Kalkınma Bankası tarafından 2016 yılında ihraç edilmiştir. 5 yıl vadeli olarak piyasaya çıkarılmış olan tahvilin tutarı 300 milyon dolardır. 2021 yılında ise yine aynı banka tarafından 5 yıl vadeli 350 milyon ABD doları değerinde tahvil ihracı gerçekleştirmiştir. Sağlanan bu kaynağın, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası'nın Sürdürülebilirlik Çerçevesi dahilinde yer alan projelerde, bu projelerin yeniden finansmanı sağlamak amacıyla ve yeni sürdürülebilirlik yatırımlarının finansmanı oluşturmak için kullanılacağı öngörülmüştür.

2018 yılında ise Yeşil Tahvil İlkeleri (Green Bond Principles) yeniden düzenlenmiş ve kapsamı genişletilmiştir. Bu düzenleme ile birlikte, iklim değişikliğinin etkilerinin

* Climate Bond Initiative tarafından sağlanan veriler baz alınmıştır. Veriler, ilgili kaynağın metodolojisine uygun bir yöntemle oluşturulduğu ve açık raporlarda yıllar içerisinde metodoloji ve kapsam güncellemeleri gerçekleştiği için rakamlar değişiklik gösterebilir.

azaltılması, doğal kaynakların korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi, iklim değişikliğine uyum sağlanması ile çevre kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü gibi beş temel çevresel hedefe katkı sağlayacak projelerin finansmanı için uygun kategoriler belirlenmiştir (Dural, 2020).

2.2.3. Yeşil Tahvil İlkeleri

2014 yılında Uluslararası Sermaye Piyasası Birliği (International Capital Market Association - ICMA), yeşil tahvil piyasalarında faaliyet gösteren işletmelere ve yatırımcılara rehberlik etmesi amacıyla bir kılavuz yayımlamıştır. Bu kılavuzda yeşil tahvil kavramı daha açık ve anlaşılır bir şekilde tanımlanmış; şeffaflık, bilgi paylaşımı ve piyasa bütünlüğünü güçlendirecek temel ilkeler ortaya konmuştur. Belirlenen bu ilkelerle, yeşil tahvillerin çevresel etkilerinin daha sağlıklı biçimde analiz edilmesi, ihraç sürecinde şeffaflığın teşvik edilmesi ve yatırımcı güveninin artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, yeşil tahvil piyasasının güvenilirliğini sağlamaya ve bütünlüğünü korumaya yönelik öneriler geliştirilmiş; kamu ve özel sektör ihraççılarına süreç yönetiminde destek sunulmuştur. Bu kapsamda, yatırımcılar, finansal kurumlar, garantörler, düzenleyici otoriteler ve diğer paydaşların erişebileceği açık bir bilgi paylaşım ağı önerilmiştir. Yeşil Tahvil İlkeleri ile sürecin tüm tarafları için belirlenen anahtar önerilerin izah edilmesi ve raporlanmasının, doğru, şeffaf ve bütüncül bilgi aktarımı açısından önemi vurgulanmıştır (ICMA, 2021).

Uluslararası Sermaye Piyasası Birliği tarafından yayımlanan rehberde, Yeşil Tahvil İlkeleri ile uyumlu olarak dört temel bileşen tanımlanmıştır (ICMA, 2021). Bu bileşenler şu şekilde sıralanmaktadır:

1. **Fon Kullandırma Şartları:** Yeşil tahvil gelirlerinin yalnızca çevresel fayda sağlayan projelere tahsis edilmesini düzenler.
2. **Proje Değerlendirme ve Seçme Süreci:** Projelerin çevresel niteliklerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve seçimi için izlenen yöntemleri açıklar.
3. **Fonun Yönetimi:** Tahvil gelirlerinin uygun biçimde izlenmesi, ayrıştırılması ve şeffaf şekilde yönetilmesini kapsar.
4. **Raporlama:** Tahvil gelirlerinin kullanımı ve finanse edilen projelerin çevresel etkilerine ilişkin düzenli bilgilendirme ve şeffaf raporlamayı ifade eder.

2.2.4. Yeşil Tahvillerin İhraç Koşulları ve Kullanım Standartları

Yeşil tahvillerin etkinliği, ihraç edilen fonların gerçekten çevresel fayda yaratacak alanlara yönlendirilmesine bağlıdır. Bu nedenle piyasada uluslararası standartlar ve rehberler geliştirilmiştir. Bu standartlar, yatırımcı güvenini artırmak, piyasa bütünlüğünü korumak ve yeşil yıkama (greenwashing) riskini azaltmak amacıyla oluşturulmuştur (OECD, 2022).

En yaygın kabul gören uluslararası çerçeve, Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği (ICMA) tarafından yayımlanan Yeşil Tahvil İlkeleri (Green Bond Principles – GBP)'dir. Bunun yanı sıra Climate Bonds Initiative (CBI) tarafından geliştirilen Climate Bonds Standard (CBS) ve Avrupa Birliği Yeşil Tahvil Standardı (EU Green Bond Standard – EUGBS), ihraç süreçlerine yönelik detaylı kriterler belirlemiştir.

Uluslararası Sermaye Piyasaları Birliği tarafından ortaya konulan ilkelere bir önceki başlıkta yer verilmişti. Climate Bonds Initiative (CBI) tarafından geliştirilen Climate Bonds Standard (CBS) ise yeşil tahvil piyasasında en sık kullanılan sertifikasyon mekanizmalarından biridir. Bu standart, projelerin iklim değişikliğiyle mücadelede somut katkı sağlamasını zorunlu kılmaktadır. CBS süreci iki temel aşamadan oluşur: (CBI, 2024).

- **Ön Onay (Pre-Issuance Certification):** Tahvil ihraç edilmeden önce, projenin uygunluk kriterlerine (eligible sectors) göre değerlendirilmesi ve sertifikasyon için başvurulması gerekir.
- **Sonraki İzleme (Post-Issuance Verification):** Fonların tahsisi tamamlandıktan sonra, harcamaların raporlanması ve çevresel etkinin doğrulanması zorunludur

Avrupa Komisyonu tarafından 2021'de kabul edilen Avrupa Birliği Yeşil Tahvil Standardı (EUGBS), AB Taksonomisi ile uyumlu bir biçimde geliştirilmiştir. Bu standart, fonların yalnızca AB Taksonomisi kapsamında çevresel olarak sürdürülebilir faaliyetlere yönlendirilmesini şart koşmaktadır (European Commission, 2021). EUGBS çerçevesinde:

- Gelirlerin %100'ü taksonomi uyumlu projelere ayrılmalıdır.
- İhraççılar, bağımsız onaylanmış doğrulayıcılardan "yeşil uygunluk raporu" almalıdır.

- Proje etkileri yıllık olarak raporlanmalı ve Avrupa Menkul Kıymetler Otoritesi (ESMA) tarafından denetlenmelidir.

Bu düzenleme, küresel piyasalarda standartlaştırılmış bir yeşil tahvil etiketi oluşturmayı hedeflemektedir.

Yeşil tahvil sertifikasyonu, yatırımcılara güvence sağlayan bir kalite damgasıdır. Bu sertifikasyon sayesinde tahvillerin gerçekten çevresel etkisi olduğu doğrulanmakta, başka bir ifadeyle "greenwashing" (yeşil yıkama) riski azaltmaktadır.

Sertifikasyon, bağımsız doğrulayıcı kuruluşlar tarafından gerçekleştirilir. Bu kuruluşlar arasında Sustainalytics, CICERO Shades of Green, DNV GL, Vigeo Eiris, Moody's ESG Solutions gibi uluslararası derecelendirme şirketleri bulunmaktadır.

Tablo 3. Yeşil Tahvil Sertifikasyon Kuruluşları ve Değerlendirme Yaklaşımları

Kuruluş / Sağlayıcı	**Ana Rolü ve Sertifikasyon Türü**	**Temel Kriterler**	**Değerlendirme Şekli**	**Raporlama Sıklığı**
CICERO Shades of Green	Second-Party Opinion (SPO)	Çevresel etki, iklim stratejisi, politika uyumu	Renk skalası (Koyu–Orta–Açık Yeşil)	Genelde yıllık izleme
Sustainalytics	SPO / ESG Değerlendirmesi	ESG yönetimi, proje uygunluğu, risk analizi	Sözel ve nitel derecelendirme	Yıllık veya proje bazlı
DNV (DNV GL)	Uygunluk ve Doğrulama (Verification)	Teknik uygunluk, fon tahsisi, rapor doğrulama	Uygun / Şartlı Onay / Sertifika	Yıllık
Moody's ESG Solutions (V.E)	SPO ve ESG Skorlaması	Çevresel & sosyal katkı, risk yönetimi	Skor + sözel analiz	Yıllık veya 6 ayda bir
ISS ESG	SPO & İhraççı Değerlendirmesi	ICMA ilkelerine uyum, proje etkisi	Skor ve uygunluk dereceleri	Yıllık
Climate Bonds Initiative (CBI)	Sertifikasyon (Climate Bonds Standard)	Sektör bazlı teknik kriterler, tahvil uygunluğu	Uygun / Uygun Değil (Certified label)	Ön ve son ihraçta
S&P Global Ratings – Green Evaluation	Derecelendirme / Skorlama	Proje çevresel katkısı, yönetim gücü	Sayısal skor (0–100)	Gerektiğinde / talep üzerine

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

İhraç Süreci

Yeşil tahvil ihraç süreci genellikle aşağıdaki beş aşamadan oluşur (ICMA, 2023):

- **Uygun Projelerin Belirlenmesi:** Kurum, finansman sağlanacak projeleri ICMA ve CBI kriterlerine göre seçer.
- **Yeşil Tahvil Çerçeve Belgesi (Green Bond Framework) Hazırlanması:** Proje kategorileri, seçim kriterleri, yönetim ve raporlama prosedürleri bu belgede açıklanır.
- **Bağımsız Değerlendirme** (Second-Party Opinion – SPO): Dış doğrulayıcı kuruluş, ihraççının yeşil tahvil çerçevesini değerlendirir ve bir uygunluk raporu sunar.
- **İhraç ve Tahsis:** Tahvil piyasaya sunulur, fonlar ayrı bir hesapta tutulur ve uygun projelere tahsis edilir.
- **Raporlama ve İzleme:** İhraççı, yıllık olarak fon kullanımına ve çevresel performansa ilişkin rapor yayımlar.

Bu süreç, piyasanın güvenilirliğini artırırken yatırımcıların sürdürülebilirlik risklerini daha etkin değerlendirmesine imkân verir.

2.2.5. Yeşil Tahvil Türleri

Climate Bonds Initiative (CBI) yeşil tahvilleri iki ana kategori altında sınıflandırmaktadır: “etiketli yeşil tahviller” ve “etiketsiz yeşil tahviller.” Etiketli yeşil tahviller, yeşil projelere veya yeşil varlıklara finansman desteği sağladığı bağımsız şekilde doğrulanmış ve belgelenmiş tahviller olarak tanımlanmaktadır. Buna karşılık, etiketsiz yeşil tahviller, gelirleri iklim dostu ve düşük karbonlu sektörlerde kullanılan, ancak resmi olarak “yeşil” etiketi taşımayan tahvillerdir. Bir başka ifadeyle, etiketli yeşil tahviller piyasada doğrudan “yeşil tahvil” adıyla pazarlanabilirken; etiketsiz tahviller çoğunlukla “iklim uyumlu tahviller” olarak adlandırılmaktadır. Ancak, standartların ve sınıflandırma ölçütlerinin küresel ölçekte tam olarak netleşmemiş olması, uygulamada bu iki tür tahvil arasındaki ayrımın belirlenmesini güçleştirmektedir (Kandır ve Yakar 2017).

Yeşil tahviller, tahvil piyasasında görece yeni ve gelişmekte olan bir araç niteliği taşıdıklarından, henüz geleneksel tahviller kadar yüksek bir piyasa derinliğine ve işlem hacmine sahip değildir. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik anlayışının giderek güçlenmesi ve çevresel duyarlılığın artması, yeşil tahvil piyasasının büyümesini desteklemektedir. Günümüz itibarıyla yeşil tahviller dört temel tür altında sınıflandırılmaktadır (ICMA, 2021):

- **Standart Yeşil Temalı Tahvil**: Geleneksel tahvillerle benzer yapısal özellikler taşıyan, ancak gelirleri çevresel fayda sağlayan projelere yönlendirilen borçlanma aracıdır.
- **Yeşil Gelir Tahvili:** Risklerin ipotekli nakit akışlarına dayandırıldığı, tahvil gelirlerinin ihraççıya değil yeşil projelerin yönetimine tahsis edildiği tahvil türüdür.
- **Yeşil Proje Tahvili:** Proje riskinin doğrudan yatırımcı tarafından üstlenildiği, belirli bir yeşil projenin finansmanına yönelik tahvil türüdür.
- **Yeşil Varlığa Dayalı Menkul Kıymet ve İpotek Teminatlı Tahvil:** Teminatını yeşil projelerden oluşan varlıkların oluşturduğu ve geri ödemesi bu varlıklardan elde edilen nakit akışlarına bağlı olan tahvillerdir.

2.2.6. Yeşil Tahvillerin Avantaj ve Dezavantajları

Yeşil tahvillerin hem ihraççılar hem de yatırımcılar açısından çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Söz konusu olumlu yönler, yeşil tahvillere yönelik talebin artması, finansal piyasaların derinleşmesi ve çevresel projeler için gerekli fon kaynaklarının daha kolay temin edilebilmesi şeklinde özetlenebilir. Buna karşılık, olumsuz yönler ise yeşil tahvil piyasasının sürdürülebilir bir biçimde gelişebilmesi için çözülmesi gereken yapısal ve uygulamaya ilişkin sorunlar olarak değerlendirilmektedir.

Yeşil Tahvillerin Avantajları (OECD 2015):

- Yatırımcılar, risk-getiri dengelerini yalnızca finansal kazançla sınırlı tutmayıp çevresel fayda ile birlikte değerlendirme olanağına sahip olmaktadır.
- Yeşil tahvillerin uzun vadeli elde tutulma eğiliminin yüksek olması, ikincil piyasalardaki fiyat dalgalanmalarını azaltmaktadır.

- Bu tahviller, yatırımcı tabanının genişlemesine katkı sağlayarak finansal çeşitliliği artırmaktadır.
- Fon kullanım alanlarının raporlanması sayesinde, risk ölçümleri daha şeffaf ve izlenebilir bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Gelişmiş kurumsal izleme mekanizmaları, yatırımcı açısından ek güven unsurları ve faydalar sağlamaktadır.
- Yeşil tahvil ihraç eden kuruluşlar, çevreye duyarlılık ve sürdürülebilirlik konularındaki taahhütlerini geniş yatırımcı kitlelerine duyurma imkânı elde etmektedir.
- Yeşil projelere ilişkin farkındalığın artmasına ve bu alanda uzmanlık oluşmasına katkı sunmaktadır.
- Yerel yönetimler ve özel sektör kuruluşları, yeşil tahviller aracılığıyla taraf oldukları çevresel taahhütleri yerine getirme olanağı bulmaktadır.

Yeşil Tahvillerin Dezavantajları (OECD 2015):

- Yeşil tahvillerin belirli standartlara dayalı niteliklerinin bulunması, bu standartlara ilişkin herhangi bir aksaklık durumunda ihraççının itibarı açısından risk yaratmaktadır.
- İhraç öncesi ve sonrası süreçlerde gerekli olan etiketleme, izleme ve raporlama faaliyetleri ek maliyetlere neden olmakta; bu durum toplam finansman maliyetini artırmaktadır.
- Yeşil tahvil piyasasında standartlar ve yasal düzenlemeler hâlen sınırlı düzeyde olup küresel ölçekte tam bir uyum sağlanamamıştır.
- Diğer borçlanma araçları piyasalarıyla entegrasyonu güç olduğundan, bireysel yatırımcı katılımı görece sınırlı kalmaktadır.

- Geleneksel tahvil piyasalarına kıyasla işlem hacmi ve likiditesi daha düşüktür.
- Yatırımcıların önemli bir kısmının yeşil tahviller hakkında yeterli bilgiye ve farkındalığa sahip olmaması, piyasanın genişlemesini yavaşlatmaktadır.
- Yeşil tahvillerin hem yatırımcıya hem de çevreye sağladığı faydalar kamuoyunda yeterince tanınmamaktadır.

Yeşil tahvillerle ilişkili en önemli risklerden biri yeşil aklama (greenwashing) olgusudur. Bu kavram, ihraççıların projelerinin çevresel faydalarını olduğundan daha fazla gösterdiği veya yanlış tanıttığı durumları ifade etmektedir. Bir başka deyişle, bir kuruluşun tüketiciler nezdinde çevreye duyarlı bir imaj yaratmak amacıyla gerçekte sahip olmadığı çevresel nitelikleri varmış gibi sunmasına "yeşil aklama" ya da "yeşil yıkama" denilmektedir.

Yeşil aklama, finansal piyasalarda güven unsurunu zedeleyerek yeşil tahvil piyasalarının sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu riskin önüne geçebilmek amacıyla Avrupa Parlamentosu, 5 Ekim 2023 tarihinde Avrupa Yeşil Tahvili (European Green Bond – EuGB) etiketine ilişkin düzenlemeyi kabul etmiştir. Bu etiketleme sistemiyle, yeşil tahvil piyasasında şeffaflığın artırılması, yeşil aklamayla etkin mücadele edilmesi ve yatırımcı güveninin güçlendirilmesi amaçlanmaktadır.

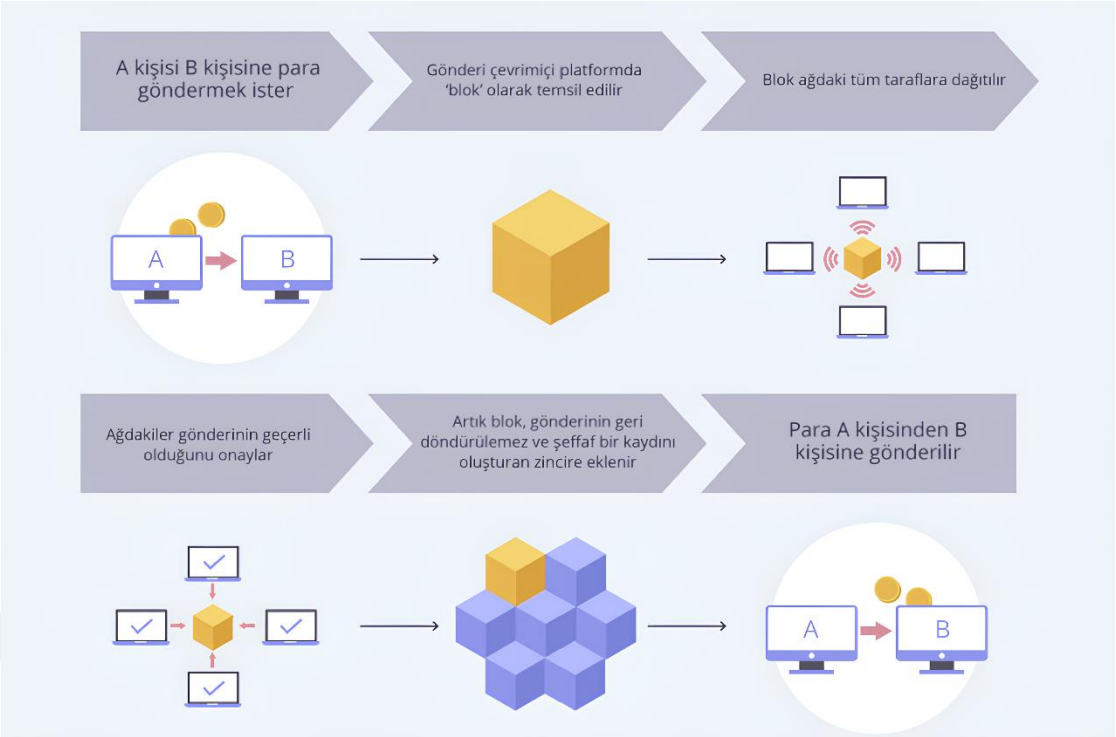
3. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ

3.1. Blok Zinciri Nedir?

Blockchain teriminin Türkçe karşılığı olarak her ne kadar genellikle "blok zinciri" ifadesi kullanılmakta olsa da, teknolojinin yapısı ve işlevsel özellikleri dikkate alındığında bazı araştırmacılar bu kavramın teknik açıdan "kayıt zinciri" olarak adlandırılmasının daha uygun olacağını ileri sürmektedir.

Blok zinciri, dağıtık defter teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT) temeline dayanan ve son yıllarda hızla önem kazanan yenilikçi bir bilgi kayıt sistemidir. Bu kavram ilk kez, Satoshi Nakamoto takma adını kullanan kişi veya kişilerin Ekim 2008'de yayımladığı "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" başlıklı makalede ortaya konmuştur. Söz konusu makalede Bitcoin, küresel ölçekte yeni bir dijital para birimi olarak tanımlanırken; blok zinciri, bu dijital para sisteminin temelini oluşturan dijital imzalı blokların zincirleme biçimde kaydedildiği bir yapı olarak tanımlanmıştır (Nakamoto, 2008).

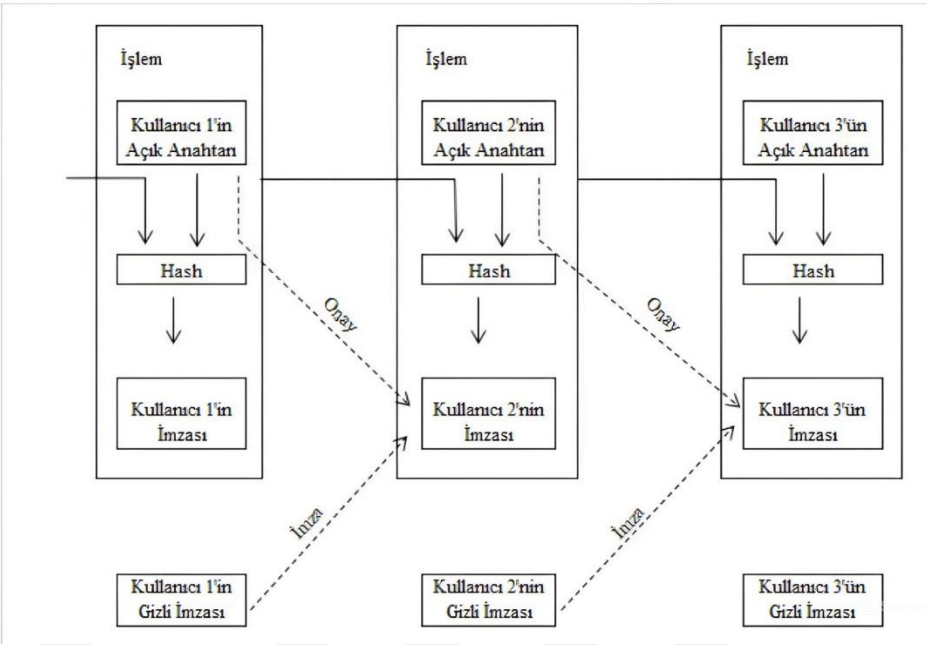
Blok zinciri, birden çok tarafı bulunan işlemlerin doğrulanması, kaydedilmesi ve güvenli şekilde saklanması ile ilgili bir teknolojidir. Bu amaçla birbirinden bağımsız bilgisayarlar internet üzerinden bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlanmaktadır. Blok zinciri alt yapısı kullanılarak yapılmak istenen işlemler ilgili yazılımlar kullanılarak ağdaki bilgisayarlarca görülür. Bilgisayarlar karmaşık algoritmalar kullanarak öncelikle işlemin geçerliliğini onaylarlar. Onaylama işlemi bilgisayarların çoğunun işlemi doğrulaması (konsensüs-uzlaşma-oybirliği) ile olmaktadır. Onaylanan işlemler bir blok oluşturacak şekilde benzersiz bir şifrelemeyle kodlanır. Bu işleme hashing denir. Yeni blok daha önce oluşturulmuş bloklara kronolojik biçimde eklemlenir. Böylece blockckchainin yapısı yenilenir. Daha sonra oluşan yeni zincir ağda bulunan tüm bilgisayarlarca kayıt altına alınır. Blok zincirinde bir işlem gerçekleştiğinde bir uzlaşma mekanizması ile zaman damgalı olarak doğrulanır ve bir defter sayfasında olduğu gibi bir veri bloğu şeklinde kaydedilir (Alarcon ve Ng, 2018). Şekil 9'da blok zincirinin nasıl çalıştığı para transferi işlemi örneği üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 9. Blok Zincirinin Çalışma Prensibi

Kaynak: Investing

Blok zinciri üzerinden para/token gönderim mantığı da yukarıdaki şekildeki gibidir. Şekil 9'da görüldüğü gibi A, B'ye para gönderme işlemi yapmak istemektedir. Blokchain alt yapısı kullanılarak yapılmak istenen işlemler öncelikle bir veri bloğu olacak şekilde temsil edilerek yazılımı kullanan ağdaki diğer taraflara (bilgisayarlar vb. donanımlar) iletilir. Yapılmak istenen işlemleri gören bilgisayarlar işlemlerin uygunluğunu denetlerler. Eğer ilgili hesaplar işlemi yapmaya uygunsa işlem doğrulanır. Ağdaki kullanıcıların yüzde 51'i işlemlerin uygun ve geçerli olduğunu doğrularsa işlemler hash edilerek bir blok halinde blok zincire eklenir. Hash, bir veri yığını temsil eden, benzersiz, şifrelenmiş rakamsal bir özet olarak tanımlanabilir. Hash edilen, -diğer bir ifadeyle hashing yapılan- bloklar kendisinden önce gelen bloklara bir daha değiştirilemeyecek şekilde eklemlenir. Oluşan yeni blok zincir yapısının bir kopyası ağdaki tüm bilgisayarlarda saklanır. Bu döngü durmaksızın devam eder.



Şekil 10. Blok Zincirinin Yapısı

Kaynak: Kılınç (2020); (Nakamoto 2008)

Kripto para birimlerinin temel altyapısını oluşturan blok zinciri teknolojisi, yalnızca Bitcoin ve benzeri dijital para birimlerinin işlemlerinin yürütüldüğü bir platform olmanın ötesindedir. Günümüzde blok zinciri, sosyal ve ekonomik sistemlerin işleyişini köklü biçimde dönüştürme potansiyeline sahip, yıkıcı bir teknoloji olarak kavramsal düzeyde geniş kabul görmektedir.

3.2. Blok Zinciri ile İlgili Kavramlar

3.2.1. Blok

Blok zinciri sisteminde, değer içeren her türlü veri "blok" (block) adı verilen yapılarda saklanır. Bu bloklar, oluşturuldukça birbirine ardışık biçimde eklenerek zincir benzeri bir yapı meydana getirir ve böylece blok zinciri oluşur. Herhangi bir blok üzerinde geçmişe dönük bir değişiklik yapılması durumunda, ardından gelen tüm blokların da değiştirilmesi gerekmektedir; bu da sistemin güvenliğini ve bütünlüğünü sağlayan temel unsurlardan biridir.

Bir blok temelde iki ana bileşenden oluşur: blok içeriği (veri kısmı) ve blok başlığı (block header). Blok içeriğinde, değer taşıyan herhangi bir veri türü yer alabilir. Blok başlığında ise bloğa ait özet bilgiler bulunur. Bu başlıkta yer alan en temel unsurlar; oluşturulma zamanı (timestamp), bir önceki bloğun özet değeri (previous hash), iş ispatı (proof of work) için kullanılan nonce değeri ve Merkle köküdür (Merkle root) (Nakamoto, 2008).

Merkle Kökü ve Hash Mekanizması

Blok zincirinin güvenlik yapısının temelini kriptografik özet (hash) fonksiyonları oluşturur. Hash, herhangi bir veri girdiğini sabit uzunlukta benzersiz bir karakter dizisine dönüştüren matematiksel bir işlemdir. Örneğin bir bloktaki tüm işlemler hash fonksiyonuna tabi tutulur ve her işlem için bir hash değeri oluşur.

Bu işlemlerden üretilen hash değerleri ikili biçimde birleştirilerek yeniden hashlenir ve bu süreç zincir halinde devam eder. Sonunda ortaya çıkan tek bir özet değer, yani Merkle kökü (Merkle root), o bloktaki tüm işlemleri temsil eder (Merkle, 1987).

Merkle kökü sayesinde:

- Blok içindeki verilerin değiştirilemezliği ve bütünlüğü garanti altına alınır.
- Verilerin doğrulanması, tüm bloğu kontrol etmeye gerek kalmadan sadece Merkle yolunu (Merkle path) takip ederek hızlıca yapılabilir.
- Bu yapı özellikle büyük veri setlerinde veri bütünlüğünün verimli biçimde doğrulanmasını sağlar.

Kısaca, Merkle kökü ve hash mekanizması birlikte çalışarak her bloğu benzersiz kılar ve herhangi bir küçük değişikliğin tüm zincirde fark edilmesini mümkün kılar.

3.2.2. Eşten Eşe (Peer to Peer - P2P) Ağ

Eşten eşe veya eşler arası olarak tanımlanan ve kısaca P2P (peer-to-peer) olarak ifade edilen ağ modeli, iki veya daha fazla istemci arasında veri paylaşımı ve dağıtımı amacıyla

kullanılan bir iletişim protokolüdür. Bu yapıda “eş” kavramı, ağ üzerindeki bir bilgisayarı temsil etmektedir. Ağda herhangi bir eşin (kullanıcının) hata vermesi durumunda yalnızca o eşin bağlantısı kesilir; ancak ağın genel işleyişi devam eder. Bu özellik, sistemin tek bir merkezi noktaya bağlı olmamasını sağlayarak ağın dayanıklılığını artırır.

Kullanıcı açısından avantajlı bir model olan eşler arası iletişim yapısı, beraberinde bazı riskleri de getirmektedir. Eşler arasında paylaşılan dosyaların herhangi bir sınırlandırmaya tabi olmaması, telif hakkı ile korunan içeriklere izinsiz erişim veya dağıtım gibi hukuki sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca, paylaşılan verilerin çoğu zaman kriptografik olarak korunmaması mahremiyet açısından çeşitli güvenlik risklerini beraberinde getirir.

Bu nedenle, eşten eşe iletişim modelinin kriptografi ile birlikte kullanılması veri güvenliği ve bütünlüğü açısından daha sağlıklı ve güvenilir bir yapı oluşturur. Blok zinciri teknolojisinde yer alan bir P2P ağında, her bir eş eşit kabul edilir ve genellikle “düğüm” (node) olarak adlandırılır (Narayanan vd., 2016).

3.2.3. Dağıtık Defter Teknolojisi (Distributed Ledger Technology - DLT)

Blok zinciri, merkezi bir sunucuya veya otoriteye bağlı olmayan dağıtık bir defter (distributed ledger) sistemidir.

Bu sistemde blok zincirinin birer kopyası, ağdaki tüm katılımcılar (node) tarafından saklanır. Her bir node, yeni blokların doğruluğunu konsensüs (uzlaşma) mekanizmasıyla onaylar (Tapscott ve Tapscott, 2016).

Bu yapı sayesinde:

- Merkezi bir otoriteye ihtiyaç kalmaz; güven, ağın tamamına dağılır.
- Saldırı veya hata durumunda sistem çökmez, çünkü verinin birçok kopyası farklı düğümlerde bulunur.
- Her yeni blok eklendiğinde, tüm katılımcılar kendi defterlerini günceller; böylece sistem senkronize ve güvenilir biçimde çalışır.

Dağıtık defter teknolojisi, yalnızca finansal işlemlerde değil; tedarik zinciri yönetimi, sağlık kayıtları, kimlik doğrulama, enerji piyasaları ve yeşil tahvil gibi sürdürülebilir finans uygulamalarında da kullanılabilir hale gelmiştir.

3.2.4. Mutabakat Mekanizması

Dağıtık yapıdaki tüm makineler (düğümler), blok zinciri ağında bulunan verinin eşlenik bir kopyasını barındırmaktadır. Bu eşlenikliğin korunabilmesi için ağ genelinde bir mutabakat (consensus) mekanizmasının işletilmesi gereklidir. Birden fazla tarafın yer aldığı bu tür sistemlerde herhangi bir işlemin geçerli sayılabilmesi, ağdaki tüm katılımcıların önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde fikir birliğine varmasıyla mümkündür. Başka bir ifadeyle, bu kuralların sağlanması ve sistem genelinde ortak bir görüş oluşturulması süreci mutabakat olarak adlandırılmaktadır (Usta ve Doğantekin, 2017).

Dağıtık sistemlerde fikir birliği sağlamak oldukça karmaşık bir süreçtir. Mutabakat algoritmaları, düğüm arızaları, ağ bölünmeleri, mesaj gecikmeleri, sırasız mesaj iletimi, hatalı veya bozuk mesajlar gibi çeşitli risklere karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Blok zinciri uygulamalarında en yaygın kullanılan mutabakat mekanizmaları Proof of Work (PoW) ve Proof of Stake (PoS) algoritmalarıdır.

İş İspatı (Proof of Work - PoW) mekanizması, blok zinciri ağlarında fikir birliği sağlamanın en eski ve en yaygın yöntemlerinden biridir. İlk kez Bitcoin protokolüyle birlikte Satoshi Nakamoto tarafından uygulanmıştır (Nakamoto, 2008). Bu mekanizmada, ağdaki düğümler (madenciler) yeni bir bloğun zincire eklenebilmesi için karmaşık matematiksel problemleri çözmek zorundadır. Bu işlem önemli ölçüde işlem gücü ve enerji gerektirmektedir.

Problemi ilk çözen düğüm, işlemin doğruluğunu ağın geri kalanına kanıtlar ve yeni bloğu zincire ekleme hakkını elde eder. Karşılığında da belirli bir miktar kripto para ödülü kazanır. Böylece ağ, hem güvenlik hem de işlemlerin doğrulanması açısından merkeziyetsiz bir şekilde çalışır. Bununla birlikte PoW mekanizmasının en önemli dezavantajı yüksek enerji tüketimi ve işlem hızındaki sınırlılıktır (Narayanan vd., 2016).

Pay İspatı (Proof of Stake - PoS) mekanizması, PoW'un yüksek enerji tüketimi ve ölçeklenebilirlik sorunlarına alternatif olarak geliştirilmiş bir mutabakat yöntemidir. Bu mekanizmada, yeni bir bloğun doğrulanması için madencilik yerine "doğrulayıcı" (validator) adı verilen katılımcılar seçilir. Doğrulayıcılar, ağa kilitledikleri kripto para miktarı (pay) oranında blok oluşturma hakkına sahip olur (King ve Nadal, 2012).

PoS sisteminde doğrulayıcılar arasında seçimin rastgelelik ve pay oranına dayalı olması, saldırı riskini azaltmakta ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra PoS mekanizması, PoW'a kıyasla daha düşük maliyetli ve çevre dostu bir alternatif sunar. Ancak, ağın güvenliği açısından büyük pay sahiplerinin etkisinin artması "merkezileşme riski" yaratabileceği için sistemin dikkatli tasarlanması gerekmektedir (Mingxiao vd., 2017).

3.3. Blok Zincirinin Uygulama Alanları

Blok zinciri teknolojisi, ilk olarak Bitcoin gibi dijital para birimlerinin altyapısını desteklemek amacıyla geliştirilmiş olsa da, günümüzde sağlık, tedarik zinciri yönetimi, finans ve telekomünikasyon gibi birçok farklı alanda kullanım potansiyeline sahip bir yapıya dönüşmüştür. Blok zinciri sistemlerinde yalnızca para birimleriyle işlem yapılması zorunlu değildir; sayısal olarak ifade edilebilen her türlü değerin satın alma veya transfer işlemlerinde kullanılması mümkündür (Kırkbaş, 2018).

Blok zinciri teknolojisinin kullanılabileceği bazı alanlar şunlardır (Usta ve Doğantekin, 2017):

- Bağış toplama etkinliği ve yönetimi,
- Dijital kimlikler,
- Yeni girişimler için sermaye ihtiyacı karşılama,
- Dijital ürünlerin kopyalanmasına karşı koruma,
- Sanat eseri satışları,
- Uluslararası ödeme sistemleri,
- Nesnelerin İnterneti (IoT),
- Noterlik uygulamaları,
- Tapu kayıt sistemleri,

• Tedarik zinciri ve lojistik yönetimi,
• Telif kayıt sistemleri.

Bu ağ yapısında isteyen herkes ağa özgürce ulaşabilir, işlem akışlarını takip edebilir ve kendi adına işlem gerçekleştirebilir. Bu nedenle genel (public) blok zinciri kullanımının en önemli avantajı, merkezi bir otoriteye bağlı olmaması ve dolayısıyla ağda yapılan işlemlere müdahale edilememesidir. Özel veya izinli (private/permissioned) kullanımda ise blok zinciri ağı tek bir kuruluş tarafından kontrol edilir ve yalnızca belirli kişi ya da kurumlara erişim izni verilir. Bu ağ tipi özellikle bankalar, büyük ölçekli şirketler ve devlet kurumları tarafından araştırılmakta olup, özel blok zinciri ağlarının uygulanabilirliğine dair çalışmalar hâlen devam etmektedir.

3.4. Blok zincirinin Yeşil Finansta Kullanılması

Son yıllarda blok zinciri tabanlı kripto para piyasalarının önemli bir piyasa değeri ve popülariteye ulaşmasıyla birlikte, teknolojinin kendisi bir süre kripto paraların gölgesinde kalmıştır. Ancak, blok zinciri tabanlı yeni finansman yöntemlerinin ortaya çıkışı, bu teknolojinin finans sektöründeki dönüşüm potansiyelinin incelenmesine yönelik ilgiyi artırmıştır.

Blok zinciri teknolojisi altında geliştirilen bu yeni finansman yöntemlerinden biri Menkul Kıymet Token Teklifi (Security Token Offering – STO) uygulamalarıdır. STO'lar, blok zinciri teknolojisinin düzenlenmiş menkul kıymet piyasalarıyla entegre edilmiş biçimi olarak tanımlanmaktadır (Deloitte, 2020). Bu süreçte gerçekleşen tokenizasyon, varlıkların blok zinciri teknolojisi aracılığıyla menkul kıymetleştirilmesi anlamına gelir. Başka bir ifadeyle, STO işlemleri, varlıkların dijital ikizlerinin oluşturulması sürecidir.

STO uygulamaları, çıkarıldıkları yasal bölgenin menkul kıymetler mevzuatına uyumlu olmak zorundadır. Buna karşın, ilk token arzları (Initial Coin Offering – ICO) veya merkeziyetsiz borsa arzları (Initial Dex Offering – IDO) gibi diğer tokenizasyon süreçlerinde yatırımcılar hukuki korumadan yoksundur. Bu nedenle, bu tür işlemlerle toplanan fonların reel yatırımlara dönüş oranı oldukça düşüktür.

STO'lar ise tokenizasyonun avantajlarını yasal bir çerçeve içinde sunarak, yatırımcı güvenini artıran bir model oluşturur. Bu yönüyle STO'lar, blok zinciri temelli finansal dönüşümün en kritik aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

Tokenizasyona konu olan varlıklar, finansal ve finansal olmayan unsurları kapsayabilir; fiziksel ya da dijital varlıkların tamamı bu sürece dahil edilebilir. Örneğin, hisse senedi, tahvil ve yatırım fonu gibi finansal araçların yanı sıra, konut, arazi veya altyapı projeleri gibi varlıklar da tokenizasyon yoluyla dijitalleştirilebilir. Bu tür dijital temsiller, literatürde "menkul kıymet tokenleri" olarak adlandırılmaktadır. Bazı düzenleyici kurumlar (örneğin Almanya Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu – BaFin), STO'ları "dijital menkul kıymet" olarak tanımlayıp mevzuatlarına dahil etmiştir.

Zhang ve Wei (2020), yeşil finansın etkinliğini artırmak amacıyla blok zinciri teknolojisinin kullanım alanlarını dört başlık altında toplamıştır. İlk olarak, yeşil varlıklara yönelik finansal iş süreçlerinin blok zinciri teknolojisi aracılığıyla optimize edilmesi önerilmektedir. Blok zinciri, kurumlar arası bilgi paylaşımını kolaylaştırarak inceleme ve değerlendirme maliyetlerini azaltabilir, ayrıca kaynak tahsisinde verimliliği ve şeffaflığı artırabilir. İkinci olarak, blok zinciri teknolojisi "yeşil" olarak kabul edilen varlıkların tanımlanmasında kullanılabilir. Böylece farklı yeşil varlık ihraçlarında uyulması gereken kriterler tek bir standart çerçevede toplanabilir. Üçüncü olarak, blok zinciri teknolojisinin karbon emisyonu ticaretine entegre edilmesiyle, tek bir takas sistemi oluşturulabilir. Bu entegrasyon, işlem verilerinin güncelliğini, doğruluğunu ve değişmezliğini garanti altına alarak işlem risklerini ve maliyetlerini azaltabilir. Dördüncü olarak, blok zinciri teknolojisinin sağladığı şeffaflık ve hesap verilebilirlik, finansal risklerin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, blok zinciri teknolojisi, bu kullanım alanları sayesinde yeşil varlıkların karşılaştığı yapısal zorlukların aşılmasına katkı sağlayabilecek önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

2015–2020 yılları arasında ABD'de gerçekleştirilen halka arz verilerine göre, tüm aracılık ve yasal maliyetlerin toplamı işlem değerinin yaklaşık %15 ila %22'si arasında değişmektedir (PricewaterhouseCoopers, 2021). Uzsoki (2019)'ye göre, blok zinciri teknolojisinin finansal sektöre entegre edilmesi durumunda bu maliyet oranı %5'in altına düşebilmektedir. Blok zinciri teknolojisi, ihraç ve işlem süreçlerinde operasyonel aracılık

faaliyetlerine duyulan gereksinimi en aza indirerek maliyetlerin azaltılmasını hedeflemektedir.

Duchenne (2018), blok zinciri teknolojisinin yalnızca yatırım bankaları için yıllık 12 milyar ABD doları düzeyinde maliyet tasarrufu sağlayabileceğini ifade etmektedir. Ayrıca blok zinciri altyapısının sunduğu akıllı sözleşmeler (smart contracts), tokenizasyon süreçlerini otomatikleştirerek geleneksel finans ve sermaye piyasalarında gözlemlenen verimsizliklere potansiyel bir çözüm sunmaktadır.

Banga (2019)'ya göre, yeşil tahvillerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engeller, yüksek işlem maliyetleri ve minimum sermaye gerekliliğinin fazla olmasıdır. Tokenizasyon, varlıkların küçük birimlere bölünmesini sağlayarak bu soruna çözüm sunmaktadır. Bu sayede, yüksek sermaye gerektiren yeşil varlıklarda gerekli sermaye miktarı azaltılabilir ve perakende ile küçük ölçekli kurumsal yatırımcıların bu varlıklara erişimi artırılabilir. Ayrıca, yatırımcıların tokenize edilmiş yeşil varlıklara uluslararası düzeyde erişebilmesi, portföy çeşitliliğini artırmanın yanı sıra uluslararası yatırımcı tabanının genişlemesine de olanak tanır. Böylece, potansiyel finansman kaynakları etkin biçimde kullanılabilir ve bu alandaki yatırım boşluğu önemli ölçüde azaltılabilir.

Yeşil varlıklar, örneğin yeşil tahviller, "yeşil tahvil" statüsü alabilmek için bir dizi denetimden geçmeli ve Yeşil Tahvil İlkeleri'ne uyum sağlamalıdır. Ancak, sürdürülebilir varlıklar için küresel ölçekte kabul görmüş standart kriterlerin bulunmaması, bu süreci karmaşık hâle getirmektedir. Farklı kriterlere dayanarak "yeşil" etiketi taşıyan yüzlerce farklı finansal varlık bulunmaktadır. Bu durum, özellikle "greenwashing" (yeşil aklama) olarak adlandırılan, çevresel veya sürdürülebilir hedeflere katkı sağlıyormuş gibi görünen ancak gerçekte herhangi bir katkısı bulunmayan projelerin finanse edilmesine yol açabilmektedir. Bu tür uygulamalar, sürdürülebilir finansal ürünler açısından önemli bir güven ve itibar riski oluşturmaktadır.

Blok zinciri teknolojisi, bu karmaşık sertifikasyon ve doğrulama süreçlerini akıllı sözleşmeler aracılığıyla otomatikleştirerek basitleştirebilir. Böylece, operasyonel süreçlerin otomasyonu ile birlikte işlem maliyetleri azaltılabilir, aynı zamanda şeffaflık ve hesap verebilirlik güçlendirilebilir. Yeşil varlıkların yeşil olarak etiketlenebilmesi için alınması gereken sertifikaların maliyetleri, geleneksel finansal varlıklara kıyasla oldukça yüksektir.

Bu bağlamda, blok zinciri tabanlı yeşil varlıkların ihraç süreçleri, sertifikasyon ve işlem maliyetleri açısından geleneksel yeşil varlıklara göre daha avantajlı bir yapı sunmaktadır.

Geleneksel finansal sistemde tahvil ihracı ve yatırımı, çok sayıda prosedür ve aracı içeren hantal ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Ayrıca, sürdürülebilirlik varlıklarının ihraççılarının taahhüt ettikleri çevresel katkıları yerine getirip getirmediği konusunda da belirgin bir belirsizlik bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, yatırımcılar açısından likit ve şeffaf ikincil piyasaların sınırlı olması da önemli bir kısıt olarak öne çıkmaktadır.

Blok zinciri teknolojisi, akıllı sözleşmeler ve nesnelerin interneti ile entegre edildiğinde, tahvil ihraç süreçlerini otomatikleştirerek operasyonel verimliliği artırabilir; tahvil gelirlerinin kullanımına ve çevresel etkilerin raporlanmasına ilişkin süreçlerde şeffaflığı güçlendirebilir.

Bu olası etkiler, blok zinciri teknolojisinin potansiyel faydalarının yalnızca bir yönünü temsil etmektedir. Yeşil varlıkların ihracını ve yatırımcı talebini artırma potansiyelinin yanı sıra, blok zinciri teknolojisi içsel özellikleri bakımından da yeşil ekonomiye katkı sunma kapasitesine sahiptir. Özellikle, karbon emisyonlarının azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması ve kâğıt kullanımının azaltılması gibi etkiler, bu teknolojinin sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet eden unsurları arasında yer almaktadır.

Finansal kurum ve kuruluşlar, blok zinciri tabanlı tahvil ihraçlarının faydalarını keşfetmeye başlamıştır. Aşağıda yer alan Tablo 4, çeşitli finansal kurumlar tarafından blok zinciri teknolojisi kullanılarak yürütülen pilot STO projelerini göstermektedir. Bu örnekler doğrudan yeşil varlık ihraçları ile ilişkili olmasa da, finansal sektörün blok zinciri teknolojisini uygulamaya başladığını göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Tablo 4. Blok Zinciri Teknolojisi ile Bazı Uygulamalar

İHRAÇÇI KURUM	MENKUL KIYMET TOKEN TEKLİFİ	TARİH	MİKTAR	ÜLKE
AVUSTURYA DEVLETİ	**Avusturya Devlet Tahvili**	2018	1.4 milyar USD	AVUSTURYA
BANCO SANTANDER	**Tahvil**	2019	20 milyon EUR	İSPANYA
BANK OF CHINA	**Tahvil**	2019	2.8 milyar USD	ÇİN
BBVA	**Sendikasyon Kredisi**	2018	150 milyon EUR	İSPANYA
DAIMLER	**Tahvil** (1 Yıllık)	2017	100 milyon EUR	ALMANYA
DEUTSCHE BANK	**Tahvil**	2019	-	ALMANYA
J.P. MORGAN	**Altın**	2018	-	ABD
SOCIETE GENERALE	**Teminatlı Tahvil** (5 Yıllık)	2019	100 milyon EUR	FRANSA
DÜNYA BANKASI	**Tahvil** (Bond-i)	2019	108 milyon USD	ABD

Kaynak: PricewaterhouseCoopers, (2020)

Avusturya Hazinesi, 2 Ekim 2018 tarihinde devlet tahvili ihraç sürecinde blok zinciri teknolojisini kullanan ilk Avrupa ülkesi olmuştur. Bu ihraç, pilot bir uygulama niteliği taşımaktadır. Avusturya Hazinesi, blok zinciri teknolojisini noter onayı ve ek bir güvenlik katmanı oluşturmak, aynı zamanda fonlama maliyetlerini düşürmek amacıyla tercih ettiğini belirtmiştir.

Benzer şekilde, Alman otomobil üreticisi Daimler, 100 milyon Euro tutarında bir blok zinciri tabanlı tahvil ihracı gerçekleştirerek tüm finansman süreçlerini blok zinciri aracılığıyla otomatikleştirmeyi hedeflemiştir. Bu pilot uygulama, blok zinciri teknolojisinin finansal süreçlerdeki potansiyel kullanım alanlarının keşfedilmesi açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 4'te yer alan örnekler incelendiğinde, blok zinciri teknolojisinin ihraç sürecinin tamamında kullanılmadığı görülmektedir. Örneğin, Avusturya Hazinesi teknolojiyi yalnızca onay mekanizması ve güvenlik katmanı oluşturmak için kullanırken, Dünya Bankası ve BBVA gibi kurumlar teknolojiyi mülkiyet devri süreçlerinde uygulamıştır. İhraç sürecinin tüm aşamalarında blok zinciri teknolojisinin henüz kullanılmamasının temel nedenleri "kültürel ve düzenleyici engeller" olarak açıklanmaktadır.

Son yıllarda, blok zinciri teknolojisinin sürdürülebilirlik bağlantılı finansal varlıklarda kullanım potansiyeli de finansal kurumların ilgisini çekmeye başlamıştır. HSBC ve Sustainable Digital Finance Alliance tarafından 2019 yılında yayımlanan raporda, menkul kıymet tokenlerinin (Security Tokens) yeşil tahvil piyasasının tam dijitalleşmesini sağlama potansiyeline vurgu yapılmaktadır.

Raporda, blok zinciri teknolojisinin tahvil ihraç sürecinde üç temel aşamada uygulanabileceği belirtilmiştir:

1. İhraç ve dağıtım,
2. Mülkiyet devri, ödeme ve uzlaşma,
3. Yatırım projelerinin yeşil etkisinin kanıtlanması (impact verification).

Mevcut örnekler incelendiğinde, blok zinciri teknolojisinin genellikle ilk iki aşamada kullanıldığı; üçüncü aşamanın (etki kanıtı) ise henüz uygulamaya geçirilmediği görülmektedir.

Aynı rapor, blok zinciri teknolojisinin yeşil tahvil ihraçlarında iki temel avantajına dikkat çekmektedir: verimlilik ve güvenilirlik. Verimlilik, hem maliyet hem de zaman tasarrufunu kapsarken; güvenilirlik, işlemlerin şeffaf ve doğrulanabilir olmasını sağlamaktadır.

Blok zinciri teknolojisi, nesnelerin interneti ve yapay zekâ gibi tamamlayıcı teknolojilerle entegre edildiğinde, yeşil tahvillerin performans takibi, raporlama süreçleri ve şeffaflık düzeyini artırma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, tahvil piyasasının genişlemesini, aracıların azalmasını ve daha küçük ölçekli projelerin de tahvil ihraç edebilmesini mümkün kılabilir.

HSBC ve SDFA raporu kapsamında yapılan hesaplamalara göre, ABD'de ortalama bir şirket tahvilinin ihraç maliyeti toplanan fonların %3 ila %6'sı arasındadır. Blok zinciri teknolojisi, komisyoncu ve listeleyici gibi aracı kurumları sürecin dışına çıkararak bu maliyetleri önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, "Müşterini Tanı" ve "Kara Para Aklama" prosedürleri, tahvil emirleri, dağıtım, mülkiyet devri, kâr payı ve kupon

ödemeleri gibi operasyonel süreçlerin akıllı sözleşmeler aracılığıyla otomatikleştirilmesi mümkündür.

Raporun tahminlerine göre, blok zinciri teknolojisinin tahvil piyasasına entegrasyonu, ihraç maliyetlerini %90 oranında azaltma potansiyeline sahiptir. Böylelikle, blok zinciri teknolojisi yatırımların ölçek ekonomilerinden daha etkin şekilde yararlanmasını kolaylaştırarak, finansal piyasalarda önemli bir verimlilik devrimi yaratma kapasitesine sahiptir.

Tablo 5. Blok Zinciri Teknolojisinin Maliyet Tasarrufuna Bir Örnek

YEŞİL TAHVİL İHRAÇ SÜRECİ	STANDART SÜREÇ (USD)	BLOK ZİNCİRİ SÜRECİ (USD)
Yapılandırma, fiyat belirleme, risk derecelendirme	1.000.000	20.000
Yasal maliyetler	100.000	40.000
KYC/AML prosedürü	500.000	-
Yeşil sertifikasyon	50.000	20.000
Yeşil etiketleme	50.000	5.000
Aracı kurum kaydı ve listelenmesi	15.000	-
Aracılık ve satış maliyeti	1.500.000	40.000
Ödeme hizmetleri	84.000	-
Vesayet	350.000	2.000
Verilerin toplanması	1.200.000	350.000
Verilerin işlenmesi	400.000	115.000
Raporlama	1.200.000	100.000
TOPLAM	6.449.000	692.000

Kaynak: HSBC ve Sustainable Digital Finance Alliance, 2019

Rapor, blok zinciri teknolojisinin entegrasyonu ile 10 dolarlık bir tahvil ihracı ile 10 milyon dolarlık bir tahvil ihracı arasında maliyet farkı bulunmayacağını belirtmektedir. Geleneksel finansal sistemde ise ağırlıklı olarak büyük ölçekli projeler finanse edilmekte, küçük ölçekli projeler için finansman imkânı görece olarak sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda blok zinciri teknolojisi, küçük ölçekli yeşil projelere finansman imkânı sağlayarak ölçekleme sorununu çözme potansiyeli taşımaktadır. Böylelikle yeşil tahvil piyasası, hem arz hem de talep tarafında daha geniş bir ihraççı ve yatırımcı tabanı oluşturabilecektir.

Ayrıca raporda, yeşil tahvillerin menkul kıymet tokeni (security token) olarak halka açık borsalarda işlem görebileceği ve ihraççıların kendi yeşil projeleri için özel tahvil ihraç platformları oluşturabilecekleri önerilmektedir. Bu sayede, küçük ölçekli ihraççıların finansmana erişimi kolaylaşacak ve piyasalarda yeşil varlık çeşitliliği artacaktır.

Finansal kurumlar, bu potansiyeli değerlendirmek amacıyla yeşil varlık ihraçlarında blok zinciri teknolojisinin kullanımına yönelik pilot uygulamalara başlamıştır. Örneğin, BBVA ve İspanyol sigorta şirketi Mapfre, 2019 yılında blok zinciri tabanlı sürdürülebilir tahvil konusunda iş birliği yapmıştır. Bu tahvil, dünyanın ilk blok zinciri tabanlı yeşil tahvili olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde, Dünya Bankası da yeşil tahvil ihracında blok zinciri teknolojisini kullanmaya yönelik pilot bir uygulama geliştirmiştir. Bu uygulamalarda blok zinciri teknolojisi, maliyetleri düşürmek, verimliliği artırmak ve tam şeffaflık sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Bunun yanında, Uluslararası Ödemeler Bankası (Bank for International Settlements – BIS) ve Hong Kong Para Otoritesi (Hong Kong Monetary Authority – HKMA) de, yeşil yatırımların artırılabilmesi ve hükümetlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerini (SDG) desteklemesi amacıyla iş birliği yapmıştır. Proje kapsamında, devlet tahvillerinin tokenleştirilmesi ve bu tahvillerin erişilebilir ve izlenebilir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, yatırımcıların bu tahvillere kolayca ulaşabilmesini sağlamak ve yatırımların "etki kanıtı" sunmasını kolaylaştırmak amacıyla bir mobil uygulama geliştirilmesi planlanmaktadır.

4. YEŞİL TAHVİLLERİN TOKENİZASYONU: ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

4.1. Literatür Taraması

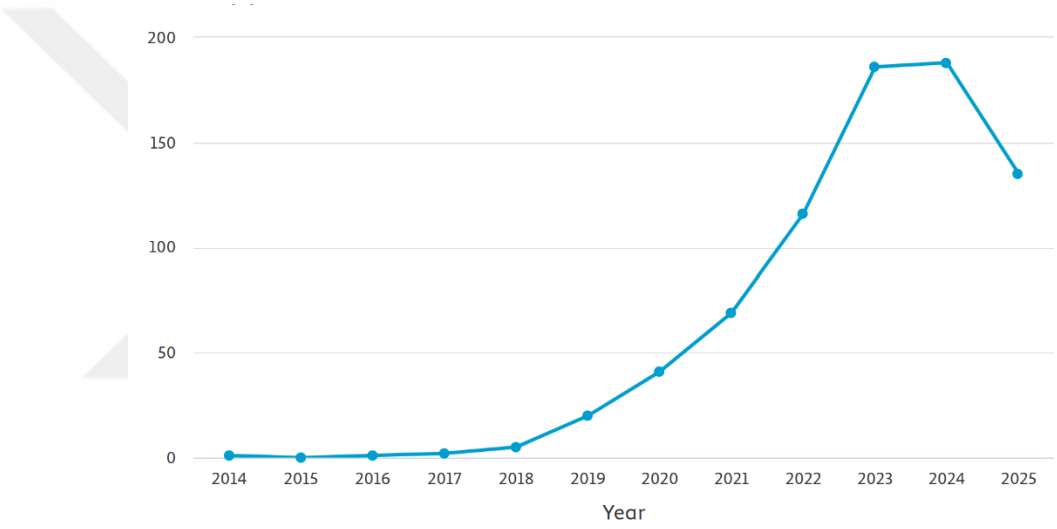
Sanayileşme ve endüstriyel üretim ile birlikte artan emisyon oranları, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın varlığının gözle görünür şekilde ortaya çıkmaya başlaması, sürdürülebilir bir gelecek kurma girişimlerini artırmış ve hatta bu zorunluluk haline gelmiştir. Çevre yetkilileri bireysel ve kurumsal farkındalığı artırmak için uzun bir süredir çaba sarf etmekte bunun sonucunda da ülkeler ve kurumlar temelinde aksiyonlar alınmaktır. Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma ve gelecek için gerekli olan kaynakların yaratılması bu konunun finansal boyutuna eğilmesine neden olmuştur. Yeşil finansın ve buna bağlı olarak da yeşil finans araçlarının ortaya çıkması tüm bu sürecin sonucudur. Yeşil finans, sürdürülebilirlik kavramının popülerliği ile birlikte son yıllarda finans literatürünün de önemli bir konu başlığı olmuştur. Yeşil finans araçlarından biri olan yeşil tahvillere olan ilgilin hem finansal alanda hem de yazın alanında arttığını görmek mümkündür. Bu tahvillerin giderek artan pazar büyüklüğü literatürde kendine yer bulmasını sağlamış, bu alandaki akademik çalışmalar ise yeşil tahvillerin hukuksal ve finansal çerçevede gelişimini desteklemiştir.

İlk yeşil tahvillerin ihraç edilmesiyle ve bu alanda uluslararası ortak aklın çeşitli konferans ve raporlar yoluyla oluşturulmaya başlanmasıyla bu alanda gerçekleştirilen çalışmaların sayısında da artış gözlemlenmeye başlanmıştır. Scopus veri tabanından elde edilen verilere göre yeşil tahvillere ilişkin ilk makale çalışması 2014 yılında ortaya konulmuştur. Bu sebeple de tarih başlangıcı olarak bu yıl seçilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde 2014 – 2025 yılları arasında sırasıyla 1, 0, 1, 2, 5, 20, 41, 69, 116, 186, 188 ve 136 makale yayınlandığı gözlemlenmektedir.

Özellikle 2019 yılıyla birlikte makale çalışmalarının ciddi oranda arttığı görülmektedir. Yeşil tahvil alanında ilkelerin belirlenmesi, bu finansal aracın piyasada kendine yer bulmaya başlaması, ihracının artması ile birlikte bu çalışma alanının literatürde giderek daha fazla ilgi gördüğü anlaşılmaktadır. Bu yazın alanında gerçekleştirilen çalışmaların yeşil tahvillere yönelik düzenlemelerde de yol gösterici olduğu anlaşılmaktadır.

Zira yeşil tahvil ihracının artması ve literatürdeki çalışmaların artışı paralellik göstermektedir.

2023 yılı ile birlikte çalışma sayısındaki yükselişin durduğu, 2024 ile birlikte de çalışma sayısının azaldığı anlaşılmaktadır. İlgili yıllarla birlikte yeşil tahvil alanına ilişkin literatürde en azından geçici bir doygunluk dönemine girildiği söylenebilir. Bu yıllarda yeşil tahvillere ilişkin politik, ekonomik, çevresel vb. alanlarda ihracı ve araştırmayı etkileyebilecek ek gelişmeler olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte dünya üzerinde ortaya çıkan savaşlar ve politik gerginlikler enerji krizine neden olmuştur. Ülkelerin enerji ihtiyacını karşılama konusundaki tavırlarında çevresel faydayı geri plana bıraktıkları böyle bir dönemde yeşil tahviller gibi çevresel fayda odaklı finansman araçlarına da ilgilin azaldığı sonucuna varılabilir.



Şekil 11. Yeşil Tahvil Alanındaki Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: Scopus*

Bu bölümde yeşil tahvil alanında literatürdeki çalışmalar incelenecek, yeşil tahvillerin yazın alanında kendine nasıl yer bulduğu kavranmaya çalışacaktır.

Prag ve Anderson (2015) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, yeşil ve geleneksel tahvillerin volatilitesi, başlangıç fiyatları ve getirileri karşılaştırılmıştır. 2009–2014 yıllarını kapsayan çalışmada panel veri analizi ve zaman serisi yöntemleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda, her üç değişken açısından da belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Bulgular, yeşil

* *Scopus veritabanından 'green bonds'(yeşil tahviller) kelimesi aranmış, sonuçlara 'article' ve 'review article' filtresi uygulanarak elde edilmiştir.*

tahvillerin geleneksel tahvillere kıyasla daha düşük volatiliteye sahip olduğunu, başlangıçta daha yüksek getiri sağladıklarını ve ihraçtan sonra fiyatlarında artış eğilimi bulunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yeşil tahvillerin yatırımcılar açısından cazip bir finansal araç olduğu, ancak ihraççılar için görece daha az avantaj sunduğu sonucuna varılmıştır.

Kredi marjını çeşitli risk faktörlerine göre en küçük kareler regresyon analizine tabi tutan Barclays (2015), yeşil tahvillerin ikincil piyasalardaki getiri farklarını incelemiştir. Mart 2014 ile Ağustos 2015 dönemini kapsayan araştırmada, yeşil tahvillerin getirilerinin geleneksel tahvillere kıyasla ortalama 17 baz puan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çevresel fayda sağlayan yatırımların finansal açıdan yatırımcıya daha düşük getiri sunmasına rağmen, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda tercih edilebildiğini göstermektedir.

Langhelle (2016), yaptığı araştırmada yeşil tercihlerin ekonomik modellere entegre edilmesi gerektiğini savunmuştur. Çalışmada, hane halkı veya yatırımcıların maksimizasyon problemine yeşil yatırım tercihlerini dâhil eden teorik bir model geliştirilmiştir. Modelin sonucunda, yeşil tahvillerin yeterli düzeyde tercih edilmesi durumunda bu tahvillere yönelik toplam tasarrufun artabileceği ve böylece piyasanın büyümesine katkı sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Piva (2017), yeşil tahviller ile benzer geleneksel tahvil çiftlerinin getiri farklarını ve yeşil tahvil endekslerinin karakteristik özellikleri ile performanslarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, yeşil tahvillerin getirilerinin ortalama 6 baz puan daha yüksek olduğu ve bu farkın piyasa segmentine göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, araştırmada kullanılan "yeşillik" tanımı ile seçim kriterlerindeki farklılıkların, yeşil tahvil endekslerinin yatırım tarzı ve performansı üzerinde belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde yeşil tahvillerin finansal piyasalarla olan ilişkisini inceleyen Reboredo (2018), yeşil tahvillerin kurumsal tahviller, hazine tahvilleri, hisse senedi ve emtia piyasalarıyla olan ilişkisini Kopulalar (Copulas) yöntemiyle analiz etmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, yeşil tahvillerin kurumsal ve hazine tahvilleriyle aynı yönde hareket ettiği ve bu piyasalardaki dalgalanmalara bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yeşil tahvillerin bu varlıkların hedge aracı olarak kullanılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık, yeşil tahviller ile enerji emtiaları ve hisse senedi piyasaları arasında zamana bağlı

olarak değişkenlik gösteren zayıf bir bağımlılık ilişkisi saptanmıştır. Bu piyasalardaki büyük dalgalanmaların yeşil tahvil piyasalarına anlamlı bir şekilde yansımaması, yeşil tahvillerin bu varlıkların hedge edilmesinde potansiyel bir araç olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Banga (2018), gelişmekte olan ülkeler için yeşil tahvillerin bir iklim finansmanı olabilme potansiyeli üzerine çalışma yapmıştır. Ulaşılan bulgular artan iklim farkındalığı sebebiyle yatırımcıların bu tahvillere ilgisinin arttığını ve yeşil tahvil piyasasının güçlendiğini göstermiştir. Fakat bu güçlenme gelişmekte olan ülkelerde bu pazarın halen yeni olması sebebiyle potansiyeline göre aşağılarda kalmaktadır.

Rannou vd. (2021), 2013–2020 yılları arasındaki sekiz yıllık dönemde Avrupalı enerji şirketlerinin ticaret faaliyetleri çerçevesinde Avrupa karbon piyasası ile yeşil tahvil piyasası arasındaki etkileşimleri incelemişlerdir. Çalışmada veri seti olarak, Avrupa İklim Borsası'nda işlem gören karbon vadeli işlem sözleşmeleri ile Avrupa borsalarında enerji firmaları tarafından ihraç edilen yeşil tahviller kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, yeşil tahvil piyasasının uzun vadeli riskten korunma (hedging) aracı olarak karbon piyasasının yerini alabileceğini, bu nedenle enerji şirketleri ve yatırımcıların portföylerinde enerji ve karbon varlıklarının yanında yeşil tahvillere de yer verebileceğini ortaya koymuştur.

Yeşil tahvil piyasasındaki risk ve getiri dinamiklerini detaylı biçimde ele alan Mensi vd. (2022), çalışmalarında MSCI Küresel Yeşil Tahvil Endeksi ile bina, hizmet, endüstriyel ve finansal yeşil tahviller arasındaki bağımlılık yapısını ve asimetrik risk yayılımlarını incelemiştir. Araştırmada 2 Ocak 2018–30 Nisan 2020 dönemine ait Bloomberg verileri kullanılmış; kopula fonksiyonları, koşullu Riske Maruz Değer (CoVaR), Diebold ve Yılmaz (2012) yayılma endeksi, nicel nedensellik testi ve nicel regresyon yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma bulgularına göre, yatırımcıların özellikle MSCI küresel yeşil tahvil fiyat getiri şoklarına dikkat etmeleri gerektiği vurgulanmıştır. Bu şoklara karşı en dayanıklı pazarın endüstriyel yeşil tahviller, en hassas sektörlerin ise bina ve kamu hizmetleri yeşil tahvilleri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca mali ve imalat sektörüne ait yeşil tahvillerin düşük CoVaR değerleri, küresel risk artışına karşı ortak bir hassasiyet taşıdıklarını göstermektedir. Sonuç olarak, yeşil tahvillerin ortak çevresel hedefleri paylaşmalarına rağmen, risk yayılımı açısından sektörler arasında heterojen bir davranış sergiledikleri ortaya konmuştur.

Kurumsal yeşil tahviller üzerinde petrol fiyatı şoklarının etkisini inceleyen çalışmalarında Azhgaliyeva vd. (2022) 41 farklı ülkeden aylık veriler elde ederek talep ve arz yönlü petrol şoklarının yeşil tahvillerin ihraç edilme olasılığını artırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Fakat bu etkinin toplam yeşil tahvil piyasa payı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. İlgili çalışma yeşil tahvil finansman kararları üzerinde enerji fiyatlarındaki oynaklıkların etkisini ve bu etkinin karmaşıklığını göstermesi açısından önemlidir.

Versal ve Sholoiko (2022) tarafından yapılan çalışmada, uluslarüstü finansal kurumların sürdürülebilir kalkınmaya geçiş sürecinde gerçekleştirdiği yeşil tahvil ihraçları incelenmiştir. Araştırma sonucunda, yeşil tahvil piyasasının gelişiminde uluslarüstü kurumların önemli bir paya sahip olduğu ve 2014–2020 yılları arasında gelişmiş ülke ihraççılarının toplam ihraçların %71'ini oluşturduğu belirlenmiştir.

Alsmadi vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, 2007–2022 yılları arasında yayımlanan çalışmalar derlenerek yeşil tahviller ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, yeşil tahvillerin sürdürülebilirliği sağlamada özellikle gelişmiş ülkelerde daha yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, devletlerin bu alanda gerekli stratejik politikalar geliştirmesi gerektiği ve ülkelerin mevzuat eksiklikleri nedeniyle yeşil tahvillerin geleneksel tahvillere kıyasla daha geri planda kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Alamgir ve Cheng (2023) yenilenebilir enerji üretimi ve yeşil tahviller arasında pozitif ve anlamlı ilişki bulmuşlardır. 67 ülke ele alınarak gerçekleştirilen çalışma iki döneme ayrılmıştır. Bu dönemlerin oluşmasında Paris İklim Anlaşması'nın (2015) önemi vurgulanmıştır. 2015 öncesinde yenilenebilir enerji üretimine yönelik istatistiksel olarak anlamlı ilişki tespit edilememişken 2015 yılı sonrası pozitif ve anlamlı etki gösterdiği bulgusu ortaya konmuştur.

Schopohl ve Sangiorgi 2023 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada küresel olarak yeşil tahvil ihraç edenlerin karşılaştıkları zorlukları, motivasyonlarını, ihraçların finansal ve finansal olmayan etkilerini anket veri analiziyle ortaya koymuşlardır. 34 ülkeden toplam 86 ihraççı ile gerçekleştirilen çalışmada itibar kazanımı, iklim değişikliği ile mücadele ve piyasa sinyali sağlamanın başlıca motivasyonlar olduğu sonucuna ulaşmışlardır. İhraç

maliyetinin geleneksel tahvillere nazaran daha yüksek olmasına rağmen yatırımcı talebi artışı, kurum içi sürdürülebilirlik taahhütlerinin güçlenmesi ve yatırımcı tabanının çeşitlenmesi sebepleriyle ihraççıların bu maliyetlere katlandığı görülmüştür. Bununla birlikte 'greenium' etkisinin piyasa koşulları ve ihraççıya bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir.

Avrupa'da ve Dünya'da 2013-2023 yılları arasında yeşil tahvil ihracının seyrini inceleyen Ibrić vd. (2024), giderek artan ihraçların yarısından fazlasının Avrupa merkezli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu yıllar içerisinde 2021 yılında yeşil tahvil ihracının hem dünya çapında hem de Avrupa'da rekor rakamlara çıktığını belirtmişlerdir.

2024 yılındaki bir diğer çalışmada panel verilerini kullanan Azhgaliyeva ve Kapsalyamova küresel şokların yeşil tahvillerin ihraç hacmi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. COVID-19'un yeşil tahvillerin ihracına ilişkin anlamlı bir etkisi olmadığı bulgusuna ulaşılan çalışmada ihracı etkileyen temel değişkenler arasında döviz cinsi, vade süresi ve kupon oranını öne çıkarmışlardır. Özellikle yüksek kuponlu, uzun vadeli ve güçlü para birimleri (ABD doları, Euro, Çin Yuanı vb.) üzerinden gerçekleştirilen ihraçların tercih sebebi olduğu, ilgili alanlarda gerçekleşecek politika desteklerinin piyasalarda yeşil tahvillerin gelişimine katkı verebileceği vurgulanmıştır.

Özyeşil ve Tembelo 2025 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada 2017-2023 yılları arasında çoklu ülke verileriyle yapılan panel veri analizi ile, yenilenebilir enerji kapasitesi, faiz oranları, GSYİH (Gayrisafi Yurtiçi Hasıla) ve karbon emisyonu azaltımı gibi makroekonomik ve çevresel değişkenlerin yeşil tahvil ihraçlarına yönelik etkisini incelemişlerdir. Çalışmada Pedroni eş bütünleme testini kullanarak uzun dönem etkiler tespit edilmiş, sonrasında ise Panel Dinamik OLS (DOLS) yöntemiyle tahminler oluşturulmuştur. İlgili sonuçlara göre yüksek faiz oranlarının yeşil tahvillerin ihracı üzerinde olumsuz etkisinin olduğu fakat GSYİH artışının ve yenilenebilir enerji kapasitesinin ihracı olumlu anlamda etkilediği ortaya konmuştur. Karbon emisyon azaltımı sürecinin ise bazı ülkeler açısından doygunluğa ulaşmış olması sebebiyle yeşil tahvil ihracını azaltabileceği belirtilmiştir.

Literatürde yeşil tahviller ile emisyon oranları ve ESG performansı ilişkisini inceleyen çalışmalara da sıklıkla rastlanmaktadır. Bu tahvillerin ihracının temel

motivasyonunun çevreye faydalı projeler geliştirmek olduğu düşünüldüğünde ortaya çıkan sonuçları araştırmak son derece önemlidir.

Garcia vd., 2023 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada yönetim kurulu yapısının etkisinin olduğunu belirtmiş, ancak ihraç sonrası ortaya çıkan çevresel performans iyileşmesinin daha sınırlı olduğuna dikkat çekmiştir. Yeşil tahvil ihraç eden şirketlerin daha düşük CO_2 emisyon hacmine ve daha yüksek çevresel puanlara ve sahip oldukları belirtilen çalışmada ayrıca bu şirketlerin ihraç sonrasındaki süreçte çevre dostu uygulamalara devam ettikleri gözlemlenmiştir. Ancak çevresel puanı düşük bazı firmaların, dış sertifikasyonları sadece imaj düzeltmek için bir araç olarak kullanma eğiliminde oldukları da ayrıca vurgulanmıştır.

Hindistan özelinde yaptıkları 2024 tarihli çalışmada Biju vd. ESG performansı ve yeşil tahvil ihracı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. 2012-2013 yılları arasında piyasalarda işlem gören şirketler üzerinde gerçekleştirdikleri ilgili analiz sonucunda ESG performansı ve yeşil tahviller arasında pozitif yönlü ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte çalışmada, çeşitlilik düzeyi, bağımsız üye oranı gibi yönetim kurulu özelliklerinin yeşil tahvilin ihraç edilmesini etkilediğini tespit etmiş, bu ilişkide de ESG performansının düzenleyici bir rol aldığını belirtmişlerdir. Çalışmada, ortaya konan bu durumun sadece çevresel kaygılarla değil yönetişimin ilkeleriyle de uyumlu olan kurumsal yapıların sermaye piyasası araçlarına yönelik etkisini de gösterdiği vurgulanmıştır.

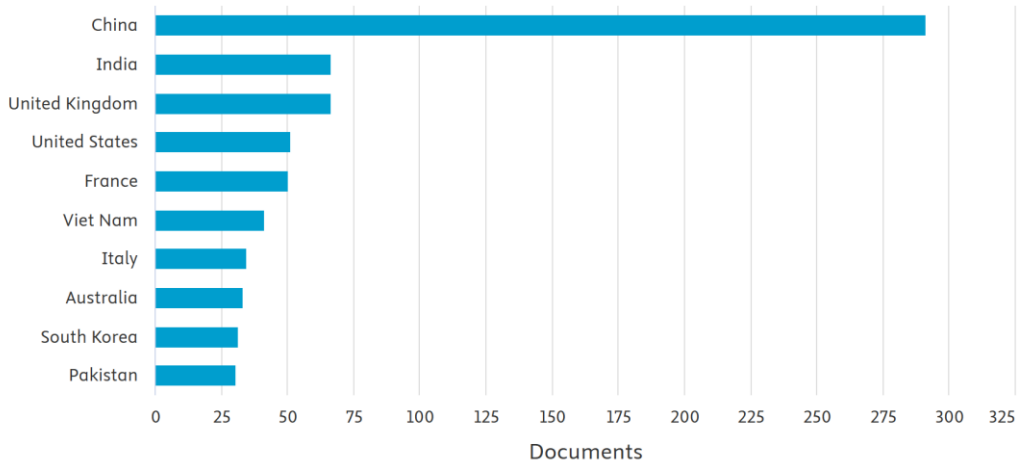
CO_2 emisyonlarına ilişkin gerçekleştirilen bir başka çalışmada, Kartal ve Pata (2025) Çin ve ABD örneklerini incelemişlerdir. İki ülkede de yeşil tahvillerin özellikle ulaşım sektöründe CO_2 emisyonlarını azalttığı, bununla birlikte Çin'de güneş ve rüzgar enerjisi üretimine yönelik teşvik etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Buna paralel olarak Guesmi vd. (2025), iklim tehdidine daha fazla maruz kalan şirketlerin yeşil tahvil ihraç etme ihtimallerinin daha yüksek olduğunu, ancak bu ihraçların çevresel anlamda karbon emisyonlarını azaltma etkisinin daha sınırlı kaldığını vurgulamışlardır.

Bu konuda gerçekleştirilen bir başka çalışmada Al Hamrani ve Al Hamrani (2025) belirleyici faktörleri ve metodolojik dağılımı kavramsal olarak incelemişler, yeşil inovasyon

ve ESG performansının öne çıkan belirleyiciler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bağımsız sertifikasyon ve şeffaflık mekanizmalarının piyasaların sağlıklı bir gelişimi açısından kritik derecede önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yeşil finansa ilişkin literatürdeki çalışmaların bibliyometrik verileri incelendiğinde Çin'in makale katkısı konusunda açık ara zirvede olduğu görülmektedir. Scopus veri tabanından edilen ve Şekil 12'de yer verilen verilere göre Çin'in 291 çalışma ile ilk sırada olduğu anlaşılmaktadır. Onu 66'şar çalışma ile Hindistan ve İngiltere, 51 çalışma ile ABD ve 50 çalışma ile Fransa izlemektedir. Avrupa'da ortaya çıkan, çerçevesi çizilen yeşil tahvil alanındaki çalışmalara Asya ülkelerinin önemli ölçüde katkı sağlaması tesadüf değildir. Bu ülkeler -özellikle Çin - hızla büyüyen ve sanayileşen fakat aynı oranda da artan karbon emisyonuna sahip ülkelerdir. Bu da uluslararası toplumu ve sürdürülebilir kalkınmayı doğrudan ilgilendiren sorunları da beraberinde getirmiştir. Tüm bunlar ele alındığında Asya ülkelerinin ön planda olmaya başlaması bu sürecin akademik yansımasıdır.



Şekil 12. Yeşil Tahvil Alanındaki Çalışmaların Ülkelere Göre Dağılımı

Kaynak: Scopus*

Çin'in yeşil finans sistemine ilişkin farklı yönleri ele alan araştırmalarda çeşitli bulgular ortaya konmuştur. Xu (2013), Çin'de yeşil kredilerin mevcut durumunu analiz ederek bu sistemin gelişimini teşvik etmek amacıyla uygulanabilecek karşı önlemleri tartışmıştır. Çalışmada, yeşil kredi politikalarının sürdürülebilir kalkınmayı destekleyici bir

* *Scopus veritabanından 'green bonds'(yeşil tahviller) kelimesi aranmış, sonuçlara 'article' ve 'review article' filtresi uygulanarak elde edilmiştir. Yıl kısıtı ise 2014-2025 olarak belirlenmiştir.*

araç olmasına karşın, düzenleyici çerçeve, teşvik mekanizmaları ve piyasa farkındalığı konularında önemli eksiklikler bulunduğu vurgulanmıştır.

Broadstock ve Cheng (2019) tarafından yapılan araştırmada, 2008–2018 döneminde yeşil tahvil piyasaları ile geleneksel (siyah) tahvil piyasaları arasındaki korelasyon ilişkisinin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışma, yeşil tahvil piyasasının dinamiklerinin sadece çevresel faktörlerle değil, aynı zamanda finansal volatilite, ekonomik politika belirsizliği, günlük ekonomik aktivite düzeyi ve enerji fiyatları gibi makroekonomik unsurlarla da şekillendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve yeşil tahvillere ilişkin olumlu veya olumsuz haber akışı, bu iki piyasa arasındaki korelasyonun yönünü ve gücünü anlamlı biçimde etkilemektedir. Araştırmacılar, piyasa duyarlılığı ve haber etkilerinin, yatırımcı davranışları üzerinden yeşil tahvillerin performansında belirleyici bir rol oynadığını vurgulamışlardır.

Yeşil tahvil ihraç etme süreçleri ilk kez ihraç edenler açısından maliyetlidir. Şirketlerin bu ihraçtan faydalanıp faydalanamayacakları ihracın gerçekleştirilmesi açısından önemlidir. Ayrıca bu durum, yeşil tahvil piyasasının gelişimi ve sürdürülebilir bir finansal araç olup olmamasının anlaşılması açısından da önemli görünmektedir. Bu çıkış noktasından hareket eden Tang ve Zhang (2020), yeşil tahvillerin ihraç edilme duyurularının ilgili şirketlerin hisse senedi fiyatına etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. 132 şirketin değerlendirildiği çalışmada yeşil tahvil ihracının hisse senedinin fiyatı üzerinde pozitif bir etki doğurduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Diğer yandan Yu vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada 2001–2017 yılları arasındaki Çinli firmalardan elde edilen verilerle, finansman sınırlamalarının yeşil inovasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, finansman erişiminde yaşanan kısıtların firmaların yeşil inovasyon faaliyetlerini önemli ölçüde engellediği, ancak uygun kredi teşvikleri ve politika desteklerinin bu etkinin azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

ABD'de jeopolitik riskler, petrol fiyatları ve yeşil tahviller arasındaki nedensellik ilişkisini incelen Lee vd., (2021), çalışmalarında 2013-2019 yılları arasını Granger nedensellik analizi ile irdelemişlerdir. Çalışmada, yeşil tahvil endeksi ile petrol fiyatı arasında çift yönlü, jeopolitik risk ile petrol fiyatı arasında ise tek yönlü bir nedensellik

ilişkisi tespit edilmiştir. Bulgular, jeopolitik riskteki değişimlerin, hem negatif dönemlerde (düşük kantillerde) hem de pozitif dönemlerde (yüksek kantillerde) petrol fiyatları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Buna karşın, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların yeşil tahvil fiyatları üzerindeki etkisi yalnızca düşük kantillerde (fiyat düşüşü dönemlerinde) gözlenmiştir. Yani, petrol fiyatları düştüğünde yeşil tahvil fiyatları etkilenmekte, ancak petrol fiyatlarındaki artışlar yeşil tahvil fiyatlarına anlamlı biçimde yansımamaktadır. Ayrıca araştırma, yeşil tahvil fiyatlarının jeopolitik risk değişimlerine duyarlı olduğunu ve bu risk faktörünün yeşil tahvil piyasasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Aggarwal ve Pathak (2021) çalışmasında, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında yeşil tahvillerin bir katalizör görevi üstlendiği görüşünden hareketle, 2016–2018 yılları arasında gerçekleştirilen projeler ile bu projeler doğrultusunda ihraç edilen yeşil tahviller incelenmiştir. Çalışmada, iklim değişikliğinin küresel bir tehdit unsuru olduğu ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin küresel ölçekte gerçekleştirilebilmesi için projelerin geliştirilmesi ve uygulanması adına sınırlı bir zaman diliminin kaldığı tespit edilmiştir.

Benzer biçimde Zhou vd. (2022), bankaların yeşil kredi uygulamaları ile kredi riski arasındaki ilişkiyi incelemiş ve Çin'deki yeşil finans düzenlemelerinin bireysel bankaların ödeme gücüne ve finansal sistemin dayanıklılığına olumlu katkı sağladığını ampirik olarak ortaya koymuştur. Bulgular, yeşil kredi portföylerinin artmasının finansal istikrar açısından bir avantaj oluşturduğunu göstermektedir.

Pham ve Nguyen (2022) araştırmalarında, hisse senedi volatilitesinin, petrol fiyatı volatilitesinin ve ekonomik politika belirsizliğinin (EPU) yeşil tahvil getirileri üzerindeki etkilerini inceleyerek, yeşil tahvil piyasalarının portföy çeşitlendirme (diversification) kabiliyetini test etmeyi amaçlamışlardır. MSDR (Markov Switching Dynamic Regression) modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları, yeşil tahviller ile belirsizlik arasındaki ilişkinin zamana ve koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Belirsizliğin düşük olduğu dönemlerde yeşil tahviller ile belirsizlik arasında zayıf bir ilişki bulunduğu, dolayısıyla bu dönemlerde yeşil tahvillerin belirsizliğe karşı korunma aracı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Ancak, çeşitlendirme faydalarının yüksek belirsizlik dönemlerinde azaldığı gözlemlenmiştir.

Wu vd. (2025) ise 2550 yeşil tahvil verileri üzerinden gerçekleştirdikleri çalışmada, yeşil tahvil ihraçlarının şirketlerin ESG ve çevresel bildirim puanlarını anlamlı düzeyde artırdığını, fakat satış başına düşen CO_2 emisyonlarında önemli bir azalma sağlamadığını ortaya koymuşlardır.

Ge vd. (2025), yeşil tahvil ihracının Çin'de faaliyet gösteren bir dizi firmanın yeşil aklama davranışına etkisini ve firmaların ESG performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada yeşil tahvil ihracının finansman ve sinyal mekanizmaları aracılığıyla ilgili kuruluşlar üzerinde kurumsal ESG performansını önemli ölçüde artırdığını bulunmuştur.

Araştırmanın ana konulardan olan tokenizasona ilişkin literatürde yıldan yıl aratan çalışmalar bulunmaktadır. Birçok finansal varlığın tokenizasyonu giderek artan oranda gerçekleştikçe ve finans çevrelerinde tokenizasyonun geleceğin ihraç modeli olduğuna dair tahmin ve beklentiler arttıkça yazın alanında da çalışma sayısında artış görülmeye başlanmıştır. İlgili araştırmaların odak noktası çoğunlukla tokenizasyonun genel ekonomik işleyişe ve finansmana etkisi, değer ve risk yaratımları, oluşturabileceği potansiyel vb. konular üzerinde olmuştur.

Tian vd. 2020 yılında altyapı finansman açığının sosyal kalkınma üzerindeki olumsuz etkilerini, geleneksel altyapı finansman araçları ile mevcut finansman arasındaki uyumsuzluk sebebiyle blok zinciri üzerinden altyapı finansmanının tokenize edilmesinin yaratacağı etkiyi anlamak amacıyla yaptıkları çalışmada SEC uyumlu ilk enerji varlığı güvenlik tokeni Ziyen-Coin'i kilit katılımcıların, ilgili düzenlemelerin ve token arz prosedürlerinin bakış açısıyla analiz etmişlerdir. Çalışmada tokenleştirmenin altyapı varlıklarının likiditesini, işlem verimliliğini ve aracılar arasında şeffaflığı artırabileceğine ulaşılmıştır. Çalışma ayrıca, sınırlı teknik altyapılar, düzenleme belirsizlikleri, token piyasasındaki dalgalanmalar ve kamu sektörünün yokluğu nedeniyle tokenleştirmenin potansiyelinin henüz tam olarak gerçekleştirilemediğini ortaya koymuştur.

2021 yılın Tian vd. yaptıkları çalışmada kamu finansmanının verimliliğini artırmak ve genişleyen altyapı açığını kapatmak için daha geniş özel kaynakları harekete geçirmek için tokenizasyonun potansiyelini araştırmışlardır. İlgili araştırmada varlık tokenleştirme sürecini göstermek ve kamu finansmanı ve özel finansman bağlamında ortaya çıkan teknolojiyle ilişkili faydaları tanımlamak için dört vaka çalışması sunulmaktadır. Elde edilen

sonuçlara göre varlık tokenizasyonu hala gelişiminin erken aşamalarındadır. Sosyal, düzenleyici ve teknik zorlukların üstesinden gelmesi gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde tokenizasyon düzenlemesi yetersizdir ve uygulama başlangıç aşamasındadır. Akıllı sözleşmeler, gelişmiş ekonomilerde bile çoğu yargı bölgesinde yasal sözleşme olarak kabul edilmemektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki politika yapıcıların, şeffaf ve güvenli bir ortamda koordinasyonu kolaylaştırmak ve istikrarı teşvik etmek için yasal sistemi ve düzenlemeleri güncellemeleri gerekmektedir. Varlık tokenizasyonu, hem kamu hem de özel sektörlere verimlilik artışı sağlamak için altyapı alanında kamu finansmanında devrim yaratmada kritik bir rol oynayacaktır. Tokenizasyonun daha geniş kapsamlı uygulamalarının önündeki potansiyel riskler ve engeller dikkatlice incelenip azaltıldıktan sonra, tokenizasyon ekonomisi, gelişmekte olan ülkelerde yoksulluğu azaltmak ve nüfus artışını ve kentleşmeyi karşılamak için kullanılabilecektir.

Tokenleştirmeyi enerji sektörü bağlamında anlamak ve aynı zamanda geniş bir altyapı projeleri yelpazesinde (örneğin ulaşım, telekomünikasyon, sağlık, eğitim) uygulamasını öngörmek amacıyla yaprıkları araştırmada Tian vd. (2022) tokenleştirmenin enerji altyapı projelerinde nasıl uygulandığını incelemek için 21 projenin analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tokenleştirme düzenlemelerinin çeşitliliğini gösteren keşifsel vaka çalışması analizleri de yürütülmüştür. Tokenleştirmenin yatırım likiditesini, şeffaflığını ve verimliliğini artırma ve sürdürülebilirliği ve kapsayıcılığı teşvik etmek için yeni iş modellerine olanak sağlama potansiyeli gösterdiği verileri bulunmuştur. Tokenizasyonun tam potansiyeline ulaşmasını kolaylaştırmak için, politika yapıcıların, ortaya çıkan teknolojinin getirdiği değişiklikleri şeffaf ve güvenli bir ortamda ele almak için yasal sistemi ve düzenlemeleri güncellemeleri gerekmektedir. Potansiyel riskler ve zorluklar dikkatlice incelenip azaltıldığında, tokenleştirme ekonomik büyümeyi teşvik edebilir, sosyal eşitliği geliştirebilir, iklim gündemine katkıda bulunabilir ve nihayetinde uzun vadede Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH) ulaşabilir. Gelişmekte olan blok zinciri teknolojisinin getirdiği potansiyel faydaları en üst düzeye çıkarmak için kamu ve özel sektörlerin mevcut uygulamalarına dayanan koordineli, proaktif ve uzun vadeli bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Kumar (2023) yaptığı çalışmada yenilikçi tokenleştirme yaklaşımıyla, geleneksel sıkıntılı tahvil piyasası ile gelişmekte olan Merkezi Olmayan Finans (DeFi) dünyası arasındaki boşluğu kapatmayı amaçlamıştır. Ayrıca tokenleştirmenin mekaniğini

derinlemesine inceleyerek, likiditeyi artırma, erişimi demokratikleştirme ve sıkıntılı tahviller için fiyat keşfini iyileştirme potansiyelini araştırmıştır. Araştırmada temel bulgular, sıkıntılı tahvillerin tokenleştirilmesinin likidite primini önemli ölçüde daraltabileceğini ve böylece bu tahvillerin işlem gördüğü iskontoyu potansiyel olarak azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca araştırmada, bu tokenleştirilmiş varlıklar DeFi ile entegre olarak küresel bir likidite havuzundan yararlanabileceği ve daha kapsayıcı ve verimli finansal piyasalar oluşturabileceği ortaya konmuştur.

Tayland'da yatırımda tokenizasyon için finansal teknoloji ortamının kullanımını etkileyen faktörleri incelemeyi amaçlayan çalışmalarında Thetlek vd. (2023) araştırma stratejisi olarak nicel bir yaklaşım kullanılmışlar, çalışmada verileri toplamak için ise kapalı uçlu anketler uygulamışlardır. Örneklem ise kolayda örnekleme yoluyla seçilen 644 katılımcıdan oluşmaktadır. Elde edilen veriler ikili regresyon kullanılarak analiz edilmiştir. Ulaşılan bulgular Tayland'da yatırım için tokenizasyonun puan, cinsiyet (özellikle erkek), gelir, tasarruflar, finansal varlıklar, dijital varlıklar, kitle iletişim araçları, sosyal medya, kitap ve dergiler ile seminer ve toplantılara katılım gibi birden fazla faktörden etkilendiğini göstermiştir. Ancak çalışma, tokenizasyon ile eğitim veya iş dünyası arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır.

Baltais vd. (2024) RWA'ların küresel ekonomiye etkisini farklı varlık sınıflarını araştırarak anlamaya çalışmak ve RWA'ların geleceğine dair ışık tutmak amacıyla ortaya konulan çalışmada tokenizasyonun ekonomik faydalarının da ölçülebilmesini hedeflemişlerdir. Ayrıca her bir varlık sınıfı için çeşitli araştırmalar ve nicel veri ve hesaplama yöntemleri kullanılmış ve hesaplamalar için oluşturulan formüllerle de matematiksel doğruluk ortaya konmaya çalışılmışlardır. Elde edilen sonuçlar tam ölçekli bir RWA tokenizasyonunun yılda 2,4 trilyon dolara kadar brüt ekonomik tasarruf sağlayabileceğini göstermektedir. Varlık sınıfının yalnızca bir kısmının tokenleştirilebileceği gerçeğini göz önünde bulundurarak, 2030 yılına kadar olası yıllık ekonomik faydaların 31 milyar ila 130 milyar dolar arasında değişeceğini tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, fiziksel varlıklar, fraksiyonelleştirme ve yatırımcılar için azaltılmış giriş engelleri sayesinde önemli ölçüde daha yüksek likiditeden faydalanılacaktır.

Silva vd. 2024 yılında yaptıkları çalışmada, kamu yatırımlarına yönelik kamu harcamalarının yürütülmesinde tokenizasyonun kullanılmasıyla sağlanabilecek olası

verimlilik artışlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Ayrıca çalışmada kamu harcamalarının yürütülmesine ilişkin işlemleri temsil etmek, kaydetmek ve izlemek amacıyla tokenlerin kamu temsilcilerinin cüzdanları arasında oluşturulup taşındığı bir değer zinciri aracılığıyla, blok zinciri teknolojisinde tokenleştirmenin kamu sektöründe gerçek kullanımına ampirik bir katkı sağlamak hedeflenmiştir. Araştırmada tasarım bilimi araştırma metodolojisi kullanılarak, keşifsel araştırma, Ernst and Young OpsChain izlenebilirlik çözümü aracılığıyla blok zincirinde tokenleştirilmiş bir prototip üretilmiştir ve bu da kamu harcaması aşamalarında otomatik süreçlere olanak sağlamıştır. Kamu sektöründen denetçilerden oluşan bir odak grubu, oluşturulan tokenlerin blok zinciri Polygon'daki kamu görevlilerinin eylemlerini temsil edip kaydettiği denetlenen kuruluşlarda mevcut bilgi kalitesinin iyileştirilmesi olasılığını değerlendirmiştir. Ulaşılan bulgularda odak grubundaki uzmanların fikir birliği, tokenleştirmenin kullanımının bilgi kalitesini artırabileceği, çünkü harcamaların yürütülmesinin her aşamasında kamu görevlilerinin faaliyetlerinin tokenlerin meta verilerinde kaydedilme olanağının denetlenen kuruluşlara, blok zincirinde kaydedilen bilgilerin avantajlarını sağladığı belirtilmektedir. Bu avantajların sıralaması ise şu şekildedir: Birincisi denetlenen verilerin değişmezliği, ikincisi güvenilirlik, şeffaflık, erişilebilirlik ve veri yapılarının verimliliğidir.

Goghie'nin (2024) ortaya koyduğu çalışmada geleneksel bankalar ile blok zinciri teknolojisi arasındaki karmaşık ilişkiyi incelemeyi amaçlayan çalışmada, geleneksel bankaların blok zincirini yalnızca teknolojik entegrasyon için değil, aynı zamanda kontrol sağlamak için de stratejik olarak nasıl kullandıklarını araştırılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada geleneksel bankalar tarafından blok zincirinin benimsenmesinin etkilerine ilişkin içgörüler sunarak, finansal altyapılardaki güç dinamiklerinin ve bunların dönüştürücü potansiyellerinin anlaşılmasını geliştirmek ve bir altyapı içinde merkezi bir konuma ulaşma çabasını yöneten altyapı oluşturma sürecini vurgulamak amaçlanmıştır. Bununla birlikteUluslararası Politik Ekonomi (IPE) ve Bilim ve Teknoloji Çalışmaları (STS) perspektiflerinden yola çıkan bu çalışma, blok zinciri teknolojisini, güç dinamiklerinin sürekli olarak en güçlü yetkiye sahip olan kurum tarafından şekillendirildiği altyapı merceğinden anlamaya çalışmaktadır. Ulaşılan sonuçlara göre bankaların en güçlü yetkiye sahip olduğu ve lobicilik kapasiteleri ve teknolojilerini finansal dönüşümlerin merkezine yerleştirme yetenekleri sayesinde bu altyapı içinde merkezilik elde edebildikleri ileri sürülmüştür. İleride, bu teorik analiz, HVB, SocGen ve MakerDAO örneğinde olduğu gibi yeni ortaya çıkan protokoller arasındaki ilişkinin ampirik incelemesiyle desteklenmiştir. Bu

ortaklıklar, yalnızca blok zinciri teknolojisinin ve tokenizasyonun bilinçli bir şekilde benimsenmesini vurgulamakla kalmayıp, aynı zamanda bankaların gelişen altyapı içinde otorite, kontrol ve kaldıraç sağlamak için aldığı proaktif önlemleri de ortaya koymaktadır. Bu nedenle, RWA'lara ve tokenleştirmeye geçiş, basit bir adaptasyondan daha fazlasını simgelemektedir; bankaların dijital çağdaki rollerini yeniden tanımlamaya yönelik ortak bir çabasını ifade eder. Özellikle RWA'lar tarafından desteklenen stabil koinler olmak üzere, tokenleştirilmiş varlıkların oluşturulması ve yönetilmesinde aktif olarak yer alan bankalar, blok zinciri altyapısının geleceğini şekillendirmede merkezi bir konuma sahiptir. Teknolojik entegrasyonun ötesinde, bankalar farklı altyapıları aktif olarak bir araya getirerek ve bunların ardındaki anlatıları etkileyerek süreçlerin altyapılandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Gunawan vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada şeffaflığı, kapsayıcılığı ve yatırım erişilebilirliğini artırarak bu zorlukları ele almak için yenilikçi mekanizmalar olarak Blok zinciri teknolojisinin ve tokenizasyonun entegrasyonunu incelemek hedeflenmiştir. Çalışmada karma yöntemli bir yaklaşım kullanılarak veriler, finans uzmanları, blok zinciri geliştiricileri ve proje yöneticileriyle yapılan görüşmelerin yanı sıra, birden fazla bölgede finans ve altyapı sektörlerinden 100 katılımcıyı içeren anketler yoluyla toplanmıştır. Analiz, şeffaflığı, güveni, erişilebilirliği ve algılanan güvenlik risklerini değerlendirmek için NVivo kullanılarak tematik kodlama ve Likert ölçeği yanıtlarının istatistiksel değerlendirmesini birleştirmiştir. Araştırmaya göre blok zinciri'in şeffaflığı (ortalama puan 4,2) ve güveni (4,0) önemli ölçüde artırdığını, tokenizasyonun ise kısmi mülkiyeti kolaylaştırdığını ve altyapı yatırımına erişimi genişlettiğini (4,1) göstermektedir. Güvenlik konusunda orta düzeyde endişeler devam etse de (puan 3,3), özellikle geliştiriciler ve yatırımcılar arasında tokenleştirilmiş yatırıma olan güçlü ilgi, benimsenmeye yönelik artan bir hazırlığı yansıtmaktadır.

Blok zinciri destekli varlık tokenizasyonunun farklı piyasa bağlamlarında işlem verimliliğini, değer yaratımını ve risk dağıtımını nasıl etkilediğini incelemek amacıyla yapılan çalışmada Tanveer vd. (2025) çoklu vaka çalışması tasarımını kullanarak gayrimenkul, altın, oyun varlıkları ve karbon kredileri olmak üzere birden fazla sektördeki dört varlık tokenizasyonu iş örneğini, her bir vakadan katılımcılarla yapılan 30 yarı yapılandırılmış görüşme yoluyla analiz etmişlerdir. Araştırmada elde edilen bulgulara göre, tokenizasyonun işlem verimliliğini önemli ölçüde artırıp yeni değer önerileri yaratırken, aynı

zamanda yönetişim ve risk dağıtımında piyasa istikrarını tehdit edebilecek karmaşıklıklar yarattığını göstermiştir. Ayrıca araştırma merkeziyetsizlik ve geleneksel yönetişim arasındaki dengeleri anlayarak, iş liderlerinin tokenleştirilmiş varlıkların değişen ortamında daha iyi yol alabileceğini ve hem varlıklarını hem de itibarlarını korumak için riskleri azaltabileceğini, blok zinciri teknolojisinden kendi avantajlarına yararlanabileceklerini ortaya koymuştur.

Chen ve Liu tarafından 2025 yılında yapılan çalışma araştırmada gayrimenkul sektöründe ortaya çıkan blok zinciri tabanlı gayrimenkul tokenizasyonu ile GYO'ları keşfetmeyi ve karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca tokenizasyona ve gayrimenkulde merkeziyetsizleşmeye geçişte bu süreci anlamak ve bu yeni modellerin geleneksel modellerle nasıl bir arada var olabileceğini veya potansiyel olarak sinerji oluşturabileceğini incelemektedir. Çalışmada ayrıca geleneksel şekilde işleyen ve tokenize edilen yatırım araçları arasındaki yapısal, operasyonel ve stratejik farklılıkları araştırarak, ilgili avantajlarını ve zorluklarını vurgulayan kapsamlı bir karşılaştırmalı analiz yöntemi ile çalışmada, özellikle yeni teknolojinin ürün yapısı, portföy yönetişimi ve paydaş ilişkileri üzerindeki sistematik etkilerini ve piyasa uygulamaları ve reformları üzerindeki diğer etkileri vurgulanmıştır. Bulgular, GYO (Gayrimenkul Yatırım Ortaklıkları)'ların yatırımcı tabanını başarıyla genişletip piyasa likiditesini iyileştirdiğini gösterirken, blok zinciri tabanlı tokenleştirmenin giriş engellerini düşürerek, işlem maliyetlerini düşürerek ve piyasa operasyonlarını merkeziyetsizleştirerek bu başarıları daha da ileriye taşıma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca gayrimenkul yatırımının finansallaşmadan merkeziyetsizleşmeye doğru ilerlemesi, geleneksel GYO'lar gayrimenkul varlıklarına daha geniş bir erişimi kolaylaştırırken, blok zinciri tabanlı tokenleştirme, gelişmiş kapsayıcılık, şeffaflık ve operasyonel verimlilik potansiyeli sunmaktadır.

Türkiye'deki bu alandaki yazına bakıldığında yeşil tahvillerin sürdürülebilir kalkınma konusundaki etkilerine ve Türkiye piyasasında gelişimine dair önerilerin bu alana ilişkin ilk çalışmalara konu olduğu görülmektedir.

Kandır ve Yakar'ın (2017) Türkiye'de yeşil tahvil piyasasının olgunlaşması ve gelişmesi için önerilerde bulunmuşlardır. Çalışmada yeşil tahvillerin özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmış, bu varlıkların Türkiye'de kullanılabilme potansiyeli incelenmiştir. Yetkili

kurumların yeşil tahvillerin ihracını teşvik edecek kararlar almaları, yasal düzenlemeler oluşturulması ve BİST'te yeşil tahvil endeksi oluşturulması gerektiği belirtilmiştir.

Canikli (2021) çalışmasında, sürdürülebilir kalkınma ile sürdürülebilir kalkınma araçları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada, yeşil tahvillerin sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir rol oynadığı ve Borsa İstanbul'un (BIST) yeşil tahviller için bir endeks oluşturmasının, Türkiye'de sürdürülebilir finansın gelişimini destekleyeceği tespit edilmiştir.

Hacıömeroğlu vd. (2021) çalışmalarında, COVID-19 salgını döneminde yeşil ve geleneksel tahvillerin birincil ve ikincil piyasa performanslarını analiz etmişlerdir. Çalışmada, Ocak 2019–28 Şubat 2021 tarihleri arasındaki dönemi kapsayan Thomson Reuters veri tabanındaki yeşil ve geleneksel tahviller veri seti olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, pandeminin başlangıcından itibaren hem yeşil hem de geleneksel tahvil yatırımcılarının birincil piyasa getirilerinde azalma gözlemlenmiştir. Buna karşılık, ikincil piyasada pandemi süresince işletme yeşil tahvillerine olan talebin arttığı ve bu tahvillerin geleneksel muadillerine kıyasla daha yüksek günlük getiriler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bulgular, sosyal etki yatırımları ve yeşil tahvillerin kriz dönemlerindeki dirençliliğini destekleyen literatürle kısmen uyumlu bulunmuştur. Ayrıca, pandemi sonrası dönemde yatırımcıların çevresel ve sosyal etki temalı konulara yönelik farkındalıklarının arttığı tespit edilmiştir.

Şimşek ve Tunalı (2022) çalışmalarında, Türkiye'de yeşil finans uygulamalarının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, yeşil tahvil ihracının teşvik edilmesi için uygun bir mekanizmanın oluşturulması, yeşil finansal araçların çeşitlendirilmesi ve bu araçların yatırımcılara açık, anlaşılır ve güvenilir bir biçimde tanıtılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Çanakçıoğlu (2023) çalışmasında, sürdürülebilir ekonomik kalkınma çerçevesinde yeşil büyümeyi yeşil finans araçlarıyla ilişkilendirerek değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında yeşil tahvil ihracında önemli rol üstlenen bankalar arasında iş birliği sağlanması, yeşil tahvil standartlarının oluşturulması ve Sermaye Piyasası Kurulu ile Borsa İstanbul'un (BIST) yeşil tahvil endeksi oluşturmada öncü bir rol üstlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, yeşil tahviller gibi diğer yeşil finansal

araçların da geleceğe yönelik riskleri azaltmadaki öneminin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2023 yılında yaptığı çalışmada Güneş, yeşil tahvil piyasasıyla 11 farklı ülkedeki tahvil faiz oranları arasında nedensellik ilişkisinin analizini gerçekleştirmiştir. Ulusal tahvil faizleriyle yeşil tahvil piyasasının etkileşimini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen çalışmada sadece Almanya'nın 10 yıllık devlet tahvili faiz oranında S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Ancak diğer ülkelerin tahvil faiz oranlarıyla yeşil tahvil endeksi arasında istatistiksel olarak bir nedensellik ilişkisi ortaya konulamamıştır. Ulusal tahvil faizlerinin yeşil tahvil piyasası üzerinde etkili olduğu Almanya özelinde doğru olsa da genel olarak bu ikisi arasında güçlü bir nedensellik bağı olmadığı anlaşılmıştır. Bunlara ek olarak analiz sonucunda bazı ülkelerin ulusal tahvil faizleri arasında karşılıklı olarak etkilerin olduğu da bulunmuştur.

Özkan 2024 yılında ortaya koyduğu çalışmada son yıllarda gerçekleşen yeşil tahvil piyasasına yönelik artan ilginin bu alandaki çalışmalara ilişkin teşviğe sebep olup olmadığını araştırmıştır. 2007 yıl itibarıyla piyasası oluşmaya başlayan yeşil tahviller üzerine çalışılan 705 makalenin bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir. Ulaşılan bulgularda yeşil tahvil konulu yayınların özellikle 2019 ile birlikte yeşil tahvil piyasasının gelişimine de paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir.

2024 yılına ait çalışmasında Baştürk yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkisini analiz etmiştir. 19 Avrupa Birliği üyesi ülkede 2016-2021 dönemini analiz eden Baştürk yeşil tahvillerin yenilenebilir enerji üretimi üzerinde istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Mirgen ve Tepeli (2024) çalışmalarında enerji tüketiminin yeşil tahvil ihraçları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada petrol ürünleri, kömür, yenilenebilir enerji kaynakları ve atıklar, doğal gaz, elektrik ve toplam enerji tüketimi arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu alanlardaki tüketim artışının yeşil tahvil ihracına yönelik pozitif etki doğurduğu belirlenmiştir.

Kılınç (2024), 2016-2021 yılları arasında yeşil tahvil ihracı gerçekleştireceğini açıklayan şirketlerin pay senetlerinde herhangi bir anormal getiri durumunun oluşup

oluşmadığını analiz etmek amacıyla ortaya koyduğu çalışmada olay günü, öncesi ve sonrasında ortalama anormal getirilerin sıfırdan farklı olduğu sonucuna ulaşmıştır. İşletmelerin özellikle şirketlerin ihracı duyurdukları günün sonrasında anormal getiriler gözlemlenmiş, ortaya çıkan bu durum yeşil tahvil ihraçlarına ilişkin piyasanın olumlu tepki verdiğini ortaya koymuştur.

4.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Sanayileşme, endüstriyel üretim ve nüfusun artması iklim koşullarının değişmesine ve küresel ısınmaya sebep olmuş, bu da dünyanın ve yaşamın önünde büyük bir tehdit haline gelmiştir. Etkilerini gün geçtikçe çok daha yakından hissettiğimiz bu değişim sürdürülebilir bir gelecek için tüm paydaşların harekete geçmesini elzem kılmıştır. Geleceğe dair duyulan bu endişe sonucu sürdürülebilirlik kavramı tartışılır olmuş ve sürdürülebilir kalkınma kavramı ile birlikte gündeme gelmeye başlamıştır. Ulusal ve uluslararası ölçekte sürdürülebilir bir gelecek için atılması gereken adımlar tartışılmış, ortak bir kavrayış oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunun için çeşitli konferanslar, görüşmeler, forumlar düzenlenmiş raporlar, çalışmalar ortaya konulmuştur. İlk olarak sürdürülebilir kalkınma kavramı ortaya atılmış ve bunun ne olduğu, ne olması gerektiği, geleceğimizin garanti altına alınması için yapılması gerekenler konusunda uzlaşı oluşturulmaya gayret gösterilmiştir.

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için sürdürülebilir bir finansmana ihtiyaç duyulmuş ve bunun içinde sürdürülebilir finans enstrümanları ortaya çıkmıştır. Bu araçlardan sağlanan finansmanın yenilenebilir enerji projeleri, çevrenin korunması gibi çevreye duyarlı projelerde ya da çevreye zarar vermeden ekonomik kalkınmayı sağlayacak projelerde kullanılması öngörülmüştür.

Yeşil tahviller de bu amaçla oluşturulan bir sürdürülebilir finans aracıdır. Çevresel faydalar sağlayan yeşil projeleri finanse etmek için kullanılan borçlanma araçları olan yeşil tahviller geleneksel tahvillerden ve diğer yeşil finansman araçlarından farklıdır. Yeşil tahvillerdeki temel farklılık, bu tahvillerden sağlanan finansmanın, yatırımcılara çevresel duyarlılığa uygun projelerde kullanılacağının garanti edilmesinden gelir.

İlk yeşil tahvilin ihraç edilmesinden günümüze kadar yeşil tahvil ihracı giderek artmış, yeşil tahvil pazarı da gün geçtikçe büyümüştür. Fakat yeşil tahvillerin işlem hacmi hala yüksek seviyelere çıkamamış, geleneksel tahvillere nazaran önde olan bir tahvil haline gelememiştir. Yeşil tahvillerin sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirecek finansal araçların temel yapı taşlarından biri olması, sürdürülebilir bir gelecek için finans sağlaması dünyanın ve yaşamın sürdürülebilirliği için oldukça önemli olacaktır. İlgili bölümde değinilen yeşil tahvillerin dezavantajlarının ortadan kaldırılmasına ilişkin çözümler son derece önemlidir.

Bu çalışmanın amacı yeşil tahvilleri hem ihraç edenler hem de yatırımcı nezdinde daha fazla ilgi duyulan ve finans piyasalarında kendine daha fazla yer bulan bir finansal araç haline getirmek amacıyla özellikle bu tahvillerin düşük işlem hacmi ve düşük likidite sorununa yönelik olarak tokenize olmasına ilişkin bir analiz sunmaktır. Bu sayede de literatüre ilgili alanda katkı sağlamak amaçlanmaktır.

Bu amaçlarla geleneksel piyasalarda işlem gören varlıklar ile bu varlıkların tokenize halleri zaman serisi analizlerine tabi tutulmuştur. Ortaya koyulan hipotezler ise şunlardır: 1.Tokenize edilen varlıkların işlem hacimlerinde düzenli bir artış yaşanır. 2.Varlıklar tokenize edildikten sonra daha fazla yatırımcıya ulaşır. 3.Tokenize edilmiş bir finansal varlık geleneksel borsalarda işlem görenlerin aksine daha fazla büyüme potansiyeline sahiptir. 4.Varlık tokenizasyonu ilgili varlığı daha likit bir hale getirir.

Geleneksel varlıkların, gerçek dünya varlıklarının blok zinciri altyapısı ile tokenize edilmesi süreci aslında ilk olmayacaktır. Birçok farklı hisse tokenize edilmiş olarak çeşitli merkezi ya da merkezi olmayan finans platformlarında işlem görmektedir. Hatta geleneksel tahviller de bu borsalarda işlem görecek şekilde tokenize edilmişlerdir. RWA teknolojisinin hayatımıza girmesi bu süreci kolaylaştırmıştır. Ayrıca devletlerin de bu süreçte yasal altyapı ve güvence oluşturma çabaları bu varlıkları gerçek dünya varlıkları gibi güvenli kılmaya başlamıştır.

4.2.1 Tokenizasyon ve RWA

Koin ve Token Tanımı ve Farkları

Koinler (coin), kendi bağımsız blok zincirlerinde çalışan dijital para birimleridir. Bu tokenler, kendi ağları içinde temel değer birimleridir ve bir değişim aracı görevi görürler. Örneğin, bitcoin , bitcoin blok zincirinde, ether ise ethereum blok zincirinde çalışır.

Koinler geleneksel para birimleriyle bazı ortak özelliklere sahiptir. Değiştirilebilir, taşınabilir, bölünebilir ve arzı sınırlıdır. Ancak, merkezi olmayan yapıları ve aracılara ihtiyaç duymadan işlemleri kolaylaştırma yetenekleri onları geleneksel para birimlerinden farklı kılar. Basit işlemlerin yanı sıra, ether gibi bazı kripto paralar, işlem ücretlerini ödemek ve akıllı sözleşmeleri yürütmek gibi blok zincirinin işleyişinde de önemli bir rol oynar.

Tokenler ise, mevcut bir blok zincirinin üzerinde bulunan dijital varlıklardır. Kendi blok zincirlerine sahip değillerdir, bunun yerine mevcut bir blok zincirinin altyapısını kullanırlar.

Token, bir değerin veya hakkın dijital bir temsilidir. Kullanılabilir bir anlamı veya değeri olmayan hassas verilerin yerine geçer. Veri güvenliği bağlamında, bir token, bir veri tabanındaki kredi kartı numaraları veya kişisel olarak tanımlanabilir bilgiler gibi hassas verilerin yerine geçerek verileri daha güvenli hale getirebilir. Bu tokenler, güvenliği tehlikeye atmadan kritik bilgileri korur.

Kripto para birimi gibi diğer bağlamlarda ise token, mevcut bir blok zinciri veya platform üzerine kurulu bir dijital varlığı temsil eder. Bu bağlamda tokenler satın alınabilir, satılabilir veya takas edilebilir (Crypto Council For Innovation, 2024).

Bu iki kavram sıkça birbirlerinin yerine kullanılsa farklı kavramlardır ve blok zinciri üzerinde farklı varlıkları temsil eder. Kısaca özetlemek gerekirse koin, kriptoloji bilimi kullanılarak kendi blok zincirinde oluşturulan kripto varlıklardır. Token ise hali hazırda oluşturulmuş bir blok zinciri üzerinde inşa edilen kripto varlıklardır.

Blok zincir oluşturmaya gerek kalmadığı için token üretimi, koin üretimine göre oldukça kolaydır. Ayrıca koin, bir dijital para iken token ise bir dijital varlıktır. Koin ile kripto para satın alınabilken, token ile bir hizmet veya ürün satın alınabilir.

4.2.2. RWA Kavramı

RWA (Real World Assets - Gerçek Dünya Varlıkları), fiziksel veya geleneksel finansal varlıkların dijital tokenler aracılığıyla blok zinciri sistemine entegre edilmesini ifade eder. Gayrimenkuller, hisse senetleri, tahviller, sanat eserleri gibi gerçek dünya varlıkları, tokenize edilerek dijital ortamda daha erişilebilir ve likit hale getirilebilir.

Dijital tokenlara dönüştürülen ve bir blokzincirde veya diğer dağıtılmış defter teknolojisinde saklanan RWA'lar, tokenize edilmiş gerçek dünya varlıklarıdır. Bunlar arasında gayrimenkul, sanat, emtia ve hatta fikri mülkiyetler yer alabilir. Fiziksel varlıkların bu şekilde dijitalleştirilmesiyle daha fazla likidite, şeffaflık ve erişilebilirlik mümkün hale gelir ve sıklıkla geleneksel finans piyasalarını modernize etmenin ve demokratikleştirmenin bir yolu olarak düşünülür. (Cointlegraph Türkiye, 2024)

Gelişmiş likidite, RWA'ların en önemli faydalarından biridir. Belirli işlem saatlerine sahip geleneksel piyasaların aksine, kripto para borsaları bu tokenların 7/24 alım satımına izin vererek yatırımcılara daha fazla özgürlük sağlar. Dahası, blokzincir teknolojisinde yerleşik olan şeffaflık sayesinde yatırımcı güveni artar ve bu da dolandırıcılık ve sahiplik çatışmaları olasılığını daha da azaltır.

Ayrıca tokenleştirme, geleneksel finans piyasalarında yaygın olan giriş engellerinin birçoğunu ortadan kaldırarak evrak işleri, aracılar ve yasal ücretler gibi varlık yönetimiyle ilişkili maliyetleri düşürür. Bu maliyet düşüşünün bir sonucu olarak yatırım bedelleri azalabilir.

Bununla birlikte, RWA'ların yargı yetkisine göre farklılık gösteren düzenleyici hususlar da dahil olmak üzere dezavantajları vardır. Herhangi bir tokenizasyon projesi yerel yasa ve yönetmeliklere uygun olmalıdır. Dijital varlıkların dolandırıcılık ve bilgisayar

korsanlığına karşı savunmasızlığı nedeniyle güvenlik de bir diğer önemli konudur. Bu varlıkları korumak için etkili saklama çözümleri ve güvenlik önlemleri gereklidir.

Bu zorluklara rağmen, tokenize gerçek dünya varlıkları, daha kapsayıcı yatırım seçenekleri sunan umut verici bir finans sektörü yeniliğidir. Tokenizasyonun benimsenmesi henüz ilk aşamalarında ve geleneksel finansta yaygın olarak kabul görmesi biraz zaman alabilir. Bununla birlikte teknoloji, fiziksel varlıklarla ilgilenme ve bunlara yatırım yapma şeklimizi değiştirebilir.

RWA'lar, kripto dünyasının hızla gelişen bir sektörüdür. RWA'ların bazı kullanım örnekleri şunlardır: (Bitcoin.com)

Tahviller : RWA token'ları, ABD Hazine bonoları ve tahvilleri gibi devlet tahvilleriyle desteklenen tahvil RWA token'ları aracılığıyla getiri elde etmek için kullanılabilir. Bu tahvilleri tokenleştirilerek, yatırımcılar yatırımlarından getiri elde ederken aynı zamanda artan şeffaflık, likidite ve kesirli mülkiyet gibi blok zinciri teknolojisinin avantajlarından da yararlanabilirler.

Gayrimenkul : Tokenleştirilmiş gayrimenkul, insanların bir mülkün bir kısmına sahip olmalarına ve bundan kira geliri elde etmelerine olanak tanır. Bu, gayrimenkul yatırımının demokratikleşmesine ve daha fazla insana ulaşmasına yardımcı olabilir.

Emtialar : Jetonlaştırılmış güzel sanatlar, insanların bir resim veya heykelin bir kısmına sahip olmalarına ve bundan gelir elde etmelerine olanak tanır. Bu, bir sanat eserinin tamamını satın alma imkânı olmayan kişiler için güzel sanatlara yatırım yapmayı daha erişilebilir hale getirebilir.

Sanat ve Koleksiyonluk Eşyalar : Maecenas ve diğer platformlar, sanat eserleri veya koleksiyonluk eşyalarda kesirli mülkiyet satın alınmasını sağlayarak sanat ve koleksiyonluk eşya sahipliğini dönüştürdü.

Ekipman ve Makineler : Firmalar artık endüstriyel ekipman ve makinelerin tokenleştirilmesini araştırıyor, bu da kesirli mülkiyet ve kullanım haklarına olanak tanıyor ve böylece varlık kullanımını optimize ediyor.

RWA teknolojisi, gerçek dünya varlıklarını blok zincirine bağlayan projelerin oluşmasıyla gelişmiş, bu teknoloji ile blok zinciri üzerinde en yüksek hacme sahip tokenler üretilmiştir. Tokenizasyon süreçleri blok zinciri üzerinde token oluşturma şeklinde görece daha zor ve komplike olmaktan çıkmış, birçok farklı platformlarda ilgili adımlar takip edilerek sonuçlandırılabilir olmuştur. Bu, sürece hem hız kazandırmış hem de insan eliyle yapılacak kodlama hatalarından dolayı oluşabilecek çeşitli zararların önüne geçilmesine olanak sağlamıştır.

RWA'ların Geçmişten Günümüze Ortaya Çıkış Süreci

RWA'ların ortaya çıkmasının görece daha yeni tarihlerde gerçekleştiği düşünülse de bu düşünce aslında tamamen doğru değildir. On yıllar öncesinde finans alanında mülkler ve emtialar gibi gerçek dünya varlıkları daha küçük parçalar halinde piyasaya sunulabilmek adına finans sistemine sokulmaya çalışılmaktaydı. 1960'larda GYO, gökdelenler, alışveriş merkezleri gibi tek parça halinde büyük yatırım ya da hisse gerektiren varlıkların daha küçük paylarına sahip olunabilmesi adına bu varlıkların payları bölünmeye başlamıştı. İlerleyen zamanlarda ise Borsada İşlem Gören Fonlar (EFT), altın ve borsa endekslerinin de daha küçük parçalar halinde sunulması, dijital ortamda satılması gerçekleşmişti.

Bu varlıklar sadece finansal ürünler değillerdi, aynı zamanda varlıkların demokratikleştirilmesi yolunda ilk deneyleri oluşturmaktaydı. (Redstone, 2025). 1990lı yılların sonunda fiziki külçe yerine kullanılabilen e-altın, dijital altın sertifikaları sunuldu. Aslında bu gelişmeler de bir nevi tokenizasyonu temsil etmekteydi. Artık gerçek altın külçelerini temsil eden dijital varlıklar işlem görür hale gelmişti.

Fakat bu anlamda bir tokenizasyon esasında karmaşık ve sorunlu hale gelmeye de başladı. Zira bu varlıklar gerçek teminatlarla değil 'güven' üzerine inşa edilmişti. Tüm GYO'ların yönetim şirketlerine, tüm EFT'lerin saklayıcılarına ve tüm e-altınların gerçekte karşılığını bulundurması gereken, bunlar hakkında düzenli işlenmiş defterler tutan şirketlere ihtiyacı vardı. Buradaki temel zorluk inovasyondan ziyade altyapıydı. Blok zinciri teknolojisinin dağıtılmış defter işleyişi bu zorlukların önüne geçecek bir düzeydeydi. Çünkü ilgili kayıt ve verilerle birlikte küresel çapta elden ele değiştirilebilmesi gereken, en azından

bu umutla ortaya çıkan varlıklar gerçek işleyişte alım ve satımların birbirine uzak, farklı düzenlemelere ve altyapıya tabi kişiler arasında gerçekleştiği bir düzleme çekilemedi.

2009 yılında Bitcoinin ortaya çıkması ve özellikle de 2015'te Ethereum [kripto para birimi ether (ETH) tarafından desteklenen merkezi olmayan bir blok zinciri ağı ve yazılım geliştirme platformu (ethereum.org, 2025)] ağının geliştirilmesi tokenizasyon için farklı bir yolun açılmasını sağladı. Esasında bu fark teknolojiden ziyade güven sorununun ortadan kalkmasına vesile olacak yolun oluşturulmuş olmasıydı.

Örneğin e-altın için yaşanan sorunlardan biri düzenleyici otoritelerin denetiminde ya da operasyonel problemler ortaya çıktığında tüm sistem bir anda kapatılabilmesi durumuydu. Çünkü bir şirketin düzenli ve 'dürüst' kayıtlar tutması gerekiyordu ve bu denli büyük bir finansal varlık piyasasının işleyişinin tek bir şirkete ya da şahsa bağlı olmaması gerekiyordu. Blok zinciri teknolojisi bu sorunu aşacak bir yoldu. Ethereum üzerindeki akıllı sözleşmeler, karmaşık sahiplik düzeni ve transferlerin doğrudan zincir üzerinde kodlanması merkezi bir otoritenin yatırım sürecini sekteye uğratacak tek taraflı eylemlerine müsaade etmiyordu.

Gerçek dünya varlıklarının zincir içerisinde temsil edilmesi çalışmaları sonraki yıllarda geldi. Fakat o sıralarda kullanılan teknoloji görece eskiydi ve düzenleyici çerçeveler de bulunmamaktaydı. Kanun koyucular, otoriteler tarafından oluşturulan ve denetlenen bir işleyiş dolandırıcı sözleşmelerin, gerçek dünyada karşılığı olmayan varlıkların blok zincirine eklenmesiyle oluşacak güven problemini ortaya çıkarabilirdi. Bu sebeple ilerleyen yıllarda devletler tarafından düzenleyici kurallar oluşturulmaya başlandı. Tüm bu çaba gerçek dünya varlıklarının gerçekten de eşler arasında, küresel çapta devredilebilir kopyalarını esasında fiziksel olarak da satın almış şekilde dijital temsillerinin oluşturulabileceğini gösterdi. Bunun ilk göstergesi 2014 yılında özellikle dolar endeksli stabil koin olan USDT'nin ortaya çıkması oldu. Dolar fiat para birimi (herhangi bir hükümetin desteklediği yasal ödeme aracı olarak kabul ettiği veya onayladığı değer varlığı) zincir içerisine eklendi ve neredeyse tüm alım satım işlemlerinde kullanılabilen, her zaman 1 dolara eşit olan bir dijital varlığın milyonlarca insan tarafından kullanılabilmesinin önü açıldı.

2022'nin sonuna gelindiğinde RWA'ların esas başlangıcı ortaya çıkmaya başladı. Bunun temel sebeplerinden biri artan küresel faiz oranlarıyla birlikte ABD Hazine Varlıkları

tekrardan ilgi görmesi olmuştu. Kripto yatırımcıların hali hazırda arttığı bir dönemde bu yatırımcılar blok zinciri ekosisteminden ayrılmadan bu varlıklara ulaşabilmek istedi. Bu konudaki hukuki düzenlemelerin de devlet otoriteleri tarafından oluşturulmaya başlanmasıyla birlikte büyük kurumlar blok zinciri üzerinden tokenizasyon konusunda daha açık ve rahat düşünmeye başladılar. Büyük varlık yöneticileri ve fintech firmaları ABD Hazine Bonolarından gelen hemen hemen her şeyi tokenize etmeye gayretine giriştiler.

Onchain (blokchainin kendisine kaydedilen ve tüm blok zincir katılımcılarıyla paylaşılan işlemler, yani zincir üstü işlemler) RWA piyasasının değeri 2022 yılında kabaca 5-10 milyar dolar bandında seyrederken 2025 yılının ortalarında 20 milyar doların üzerine çıktı. Bu ivmeyle birlikte büyük finans kurumları ve yatırım evleri 'piyasalar için geleceğin menkul kıymetlerin tokenize edilmesi' olacağını anlatan açıklamalar ve buna dair raporlar oluşturmaya başladılar. Örneğin Boston Consulting Group küresel GSYİH'nın yüzde 10'unun (yaklaşık 16 trilyon dolar) 2030 yılına kadar tokenize edilebileceğini öne sürerken, Standard Chartered, 2034 yılına kadar tokenize edilmiş varlıkların 30 trilyon dolara kadar çıkacağına dair öngörüler sunuyordu. (BCG Report, 2022).

RWA Piyasasının Önemli Varlıklar Özelinde Büyümesi

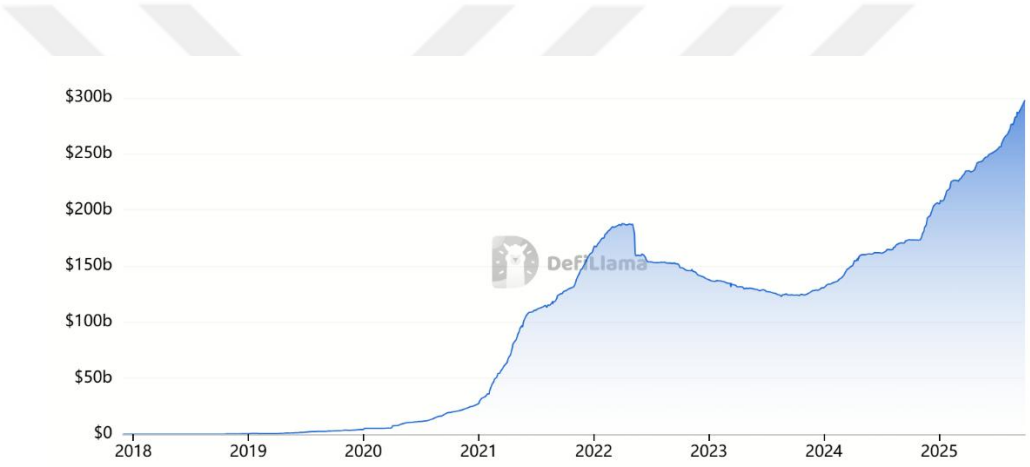
Gerçek Dünya Varlıkları'nın ortaya çıkmasının ve gelişmesinin sadece blok zinciri özelinde olmadığı düşünüldüğünde sadece blok zinciri anlatımlarının sebebini anlamakta oldukça önemli olacaktır. Bu varlıkların ortaya çıkmasındaki esas nokta yatırımcıların çeşitli varlıkların daha küçük paylarına daha pratik şekilde ulaşabilmeleri ve küresel çapta bu varlıkların ulaşılabilmesi ve el değiştirebilmesidir. Önceki bölümde de anlatıldığı üzere blok zinciri bu esas amaca ulaşmada kullanılabilecek hali hazırdaki en iyi teknolojidir. Tüm dünyada insanların rahat bir şekilde, var olan çeşitli hukuki ya da fiziki engellere takılmadan içerisinde bulunabildiği, yatırım yapabildiği bu teknoloji gerçek dünya varlıkları için de temel altyapı olmuştur.

RWA piyasasının büyümesine ilişkin çeşitli veriler bu piyasada var olan önemli varlıklar özelinde aşağıda incelenmiştir. Bu verilerle birlikte bu piyasanın gelişimi de istatistiki açıdan görülebilecektir.

Stabil Koinler

Stabil koinler değeri belirli bir itibari para birimi ya da başka bir varlığa sabitlenerek istikrarlı bir fiyat sağlayan kripto paralardır. Çoğu stabil koin, ABD dolarına sabitlenmiştir ve ihraç sahipleri her stabil koin için sahiplerine bir ABD doları ödemeyi taahhüt eder (Aldosoro vd. 2025). Bu paralar kripto piyasasının alım satımda kullanılan fiat paralarıdır.

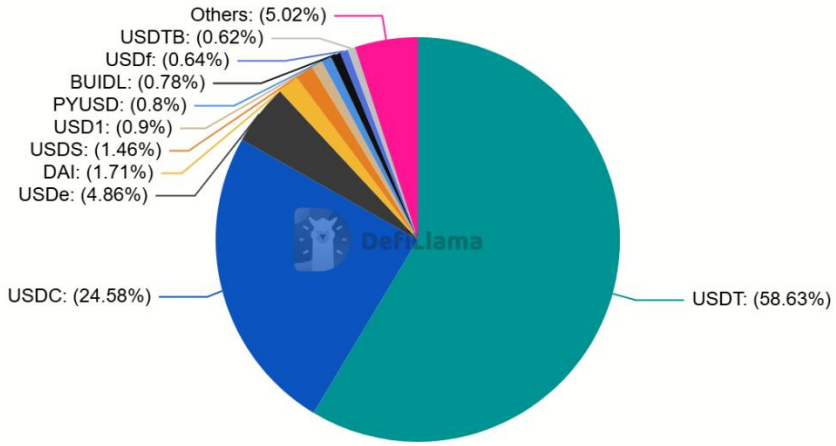
İlk stabil kripto paralar 2014 yılında piyasaya sürülen BitUSD ve NuBits olsalar da sonrasında ortaya çıkan USDT, USDC gibi birçok stabil koin ile birlikte kullanımları artmıştır.



Şekil 13. Stabil Koinlerin Yıllara Göre Piyasa Değeri

Kaynak: Defillama

Eylül 2025 itibarıyla 298 milyar dolar piyasa değerine ulaşan kripto paraların özellikle geçtiğimiz 5 yıl içerisinde çok ciddi bir büyümeye sahip olduğu görülmektedir. Grafikte görülen dalgalanmalarda, düşüşlerde çeşitli borsaların, stabil koin şirketlerinin batması, bu varlıkların peginin (bir varlığın değerinin başka bir varlığın ya da para biriminin değerine eşitleme uygulaması) bozulması da etkili olmuştur.



Şekil 14. Stabil Koin Piyasasının Varlıklara Göre Dağılımı

Kaynak: Defillama

Stabil koinler içerisindeki en büyük pay yaklaşık yüzde 58 ile USDT'ye aittir. Halen piyasada var olan en eski stabil koin olan USDT zaman içerisinde tekel durumuna ulaşsa da bu koine dair çeşitli hukuki çerçevenin oluşturulmaya başlaması ve daha şeffaf süreçlerin işlerlik kazanması piyasada var olabilmelerini ve en büyük paya sahip olmalarını sürdürebilmelerini sağlamıştır.

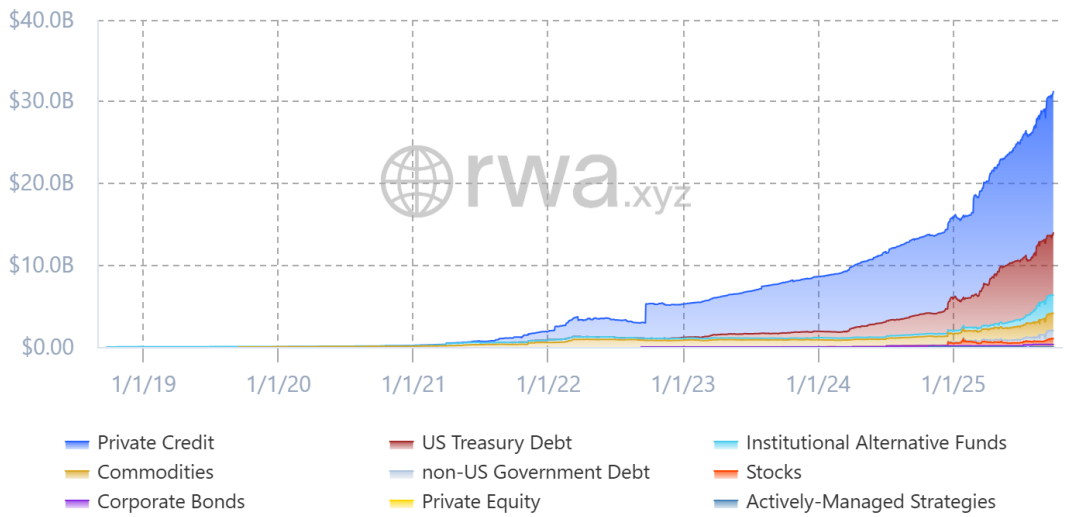
Eylül 2025 itibarıyla stabil koinler arası aylık transfer hacmi 3,17 trilyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu ay içerisinde aylık işlem yapan, transfer gerçekleştiren adres* sayısı yaklaşık 26,5 milyon olmuştur. Ayrıca toplam 193,5 milyon adresin bu stabil koinlere sahip olduğu da anlaşılmaktadır. **

Blok Zinciri RWA Varlıkları

Özellikle 2022 yılıyla başlayan finansal varlıkların tokenizasyonu sonraki yıllarda ciddi oranda artmış, piyasa değeri de bu bağlamda büyümüştür. Bu alandaki hukuki

* Adres, kripto para göndermek ve almak için kullanılan benzersiz bir karakter dizesidir. Bu adreslere sahip ve tanımlayıcı bir işlevi de olan kripto cüzdanlar, kripto paraların muhafaza edildiği benzersiz konumlardır.
** Blok zinciri üzerinde adres/cüzdan oluşturup işlem yapmak için kimlik tanımlamasına ihtiyaç olmadığından birden fazla cüzdan oluşturup varlık tutmak ve işlem yapmak mümkündür. O sebepledir ki bu adresler ayrı ayrı varlık sahiplerini göstermeyebilir, bir kişinin birden fazla adresi olabilir. Bununla birlikte bu adreslerin bireysel veya kurumsal sahipliği de olabilir.

düzenlemelerle parelel gerçekleşen bu artış yavaş yavaş günümüzün ve geleceğin gerçeği olmaya başlamıştır.

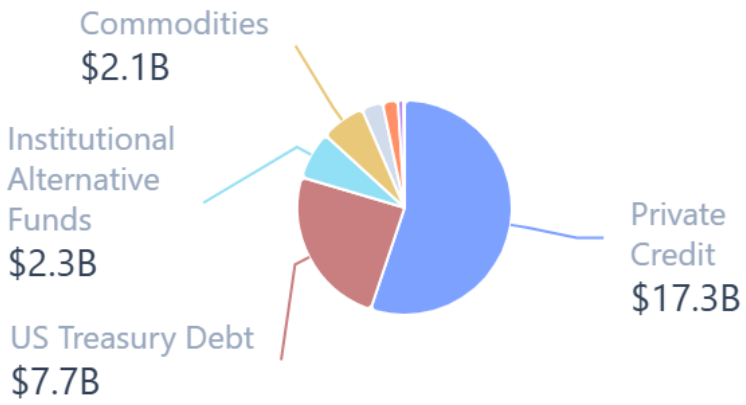


Şekil 15. RWA Piyasasının Yıllara Göre Piyasa Değeri

Kaynak: rwa.xyz

1 Ekim 2025 itibarıyla onchain toplam RWA değeri 31,3 milyar dolara ulaşmıştır. Toplam varlık sahibi adres sayısı ise yaklaşık 418 bin olarak gerçekleşmiştir. Bu varlıkları blok zincirie aktaran toplam ihraççı sayısı ise 221'dir.

Şekil 15 incelendiğinde sırasıyla en fazla değere sahip varlıklar 17 milyar 300 milyon dolar değerle özel krediler, 7 milyar 700 milyon dolar ABD hazine borçları, 2 milyar 300 milyon kurumsal alternatif fonlar, 2 milyar 100 milyonla emtialar, 1 milyarla ABD dışı devlet borçları, 725 milyon ile hisseler, 260 milyon ile kurumsal tahviller, 47 milyon ile özel sermaye ve 980 bin ile aktif olarak yönetilen stratejilerdir.



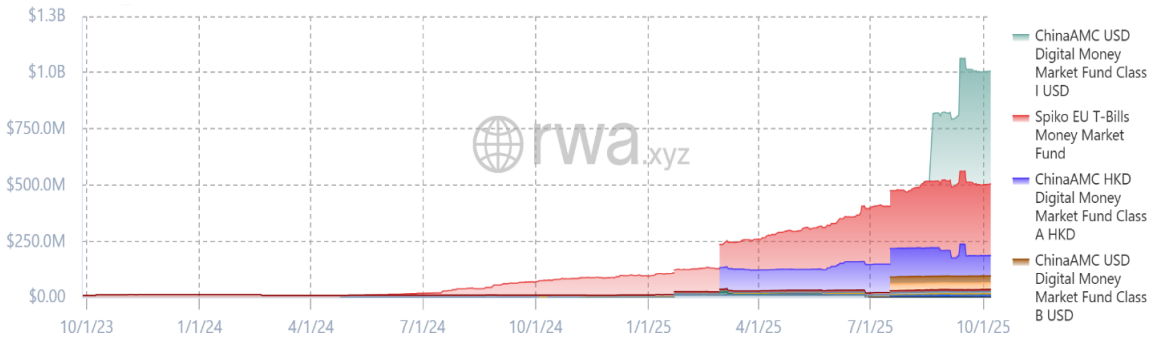
Şekil 16. RWA Piyasasının İlgili Varlıklara Göre Dağılımı

Kaynak: rwa.xyz

Şekil 16'da görüleceği üzere en fazla değere sahip varlıklar olan özel krediler, ABD hazine borçları, kurumsal alternatif fonlar ve emtiaların toplamda 29,4 milyar dolarla toplam varlıkların yaklaşık yüzde 94'ünü oluşturmaktadır.

Devlet Tahvilleri

Tokenizasyon sürecinin dünya çapında artan faiz oranları sonrası devletlerin borçlanma araçlarına olan ilginin arttığı bir dönemde hız kazandığına önceki bölümde değinilmişti. Bu yüzdendir ki devlet tahvillerinin de tokenize edildiği ve giderek bu piyasada yüksek bir paya sahip olduğu görülmektedir.



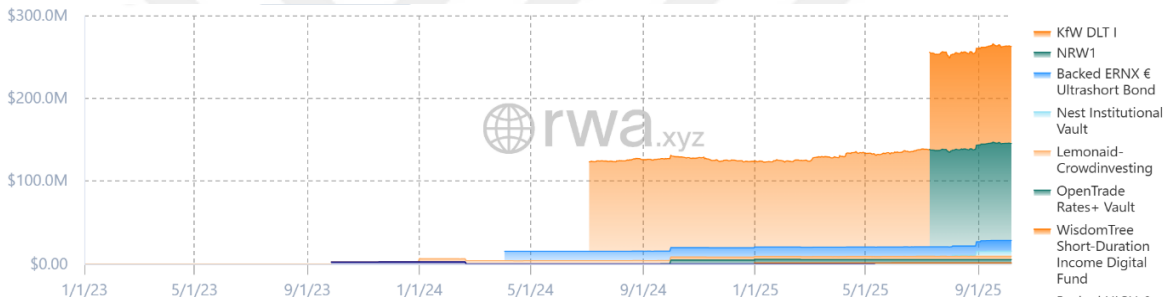
Şekil 17. Tokenize Edilmiş Devlet Tahvillerinin Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: rwa.xyz

Yukarıda verilen Şekil 17 incelendiğinde ChinaAMC Digital OFC adıyla ihraç edilen Hong Kong merkezli tahvillerin toplam piyasa payının çok büyük bir kısmını oluşturduğu görülmektedir. I sınıfı dolar bazlı tahvilerin ise yaklaşık 500 milyon dolar ile zirvede yer aldığı anlaşılmaktadır. Listenin ikinci sırasında ise Spiko SICAV adıyla ihraç edilen Fransa merkezli tahvillerin 315 milyon dolar piyasa değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Şirket Bonoları

Tokenizasyon sürecine şirketlerin de kendi borçlanma araçlarıyla dahil olmaya başlaması RWA'ların özel sektör tarafından da ilgiyle karşılandığını göstermektedir. Bir yıldan kısa süre içerisinde çeşitli şirketler kendi bonolarını tokenize etmeye başlamış, bu süre içerisinde şirket bonolarının değeri ciddi oranda artmıştır.

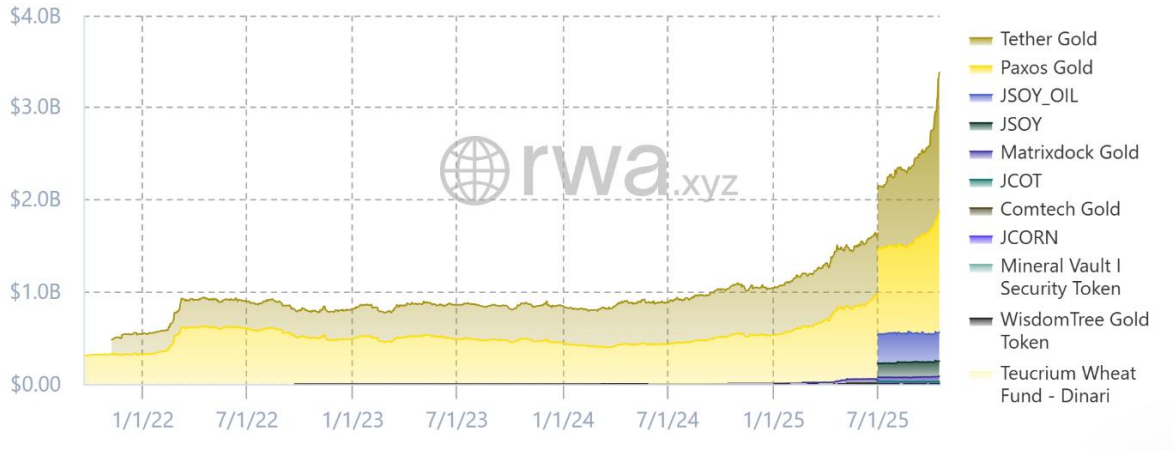


Şekil 18. Tokenize Edilmiş Şirket Bonolarının Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: rwa.xyz

Şirket bonolarının olduğu grafiğe baktığımızda ilk sırada ihraççısı Almanya merkezli Kreditanstalt für Wiederaufbau (Alman Kalkınma Bankası) olan bonoların yaklaşık 118 milyon dolarla yer aldığı görülmektedir. İkinci sırada yine Almanya merkezli NRW Bank da aynı değerdeki bono ihracını tokenize etmiştir. Üçüncü sırada ise İsviçre merkezli Backed Assets GmbH ihraççısıyla yer alan bonoların değeri ise yaklaşık 13 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir.

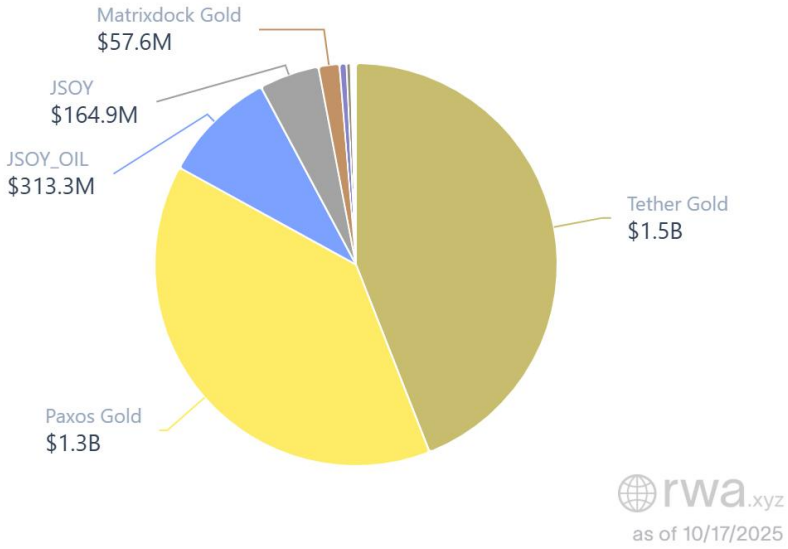
Emtialar



Şekil 19. Tokenize Edilmiş Emtiaların Piyasa Değerinin Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: rwa.xyz

17.10.2025 itibarıyla tokenize edilmiş emtialarda en yüksek değer altına aittir. Tether şirketi tarafından oluşturulan Tether Altın (XAUT) ve Paxos Trust Company tarafından oluşturulan PAX Altın (PAXG) piyasa değerleri sırasıyla yakaşık 1,5 milyar dolar ve 1,32 milyar dolardır.



Şekil 20. Emtia Piyasasının İlgili Varlıklara Göre Dağılımı

Kaynak: rwa.xyz

Şekil 20’deki verilerden de görüleceği üzere Tether Gold ve Paxos Gold emtia piyasasının yaklaşık yüzde 83’ünü oluşturmaktadır.

17.10.2025 tarihi itibarıyla dünya üzerindeki altının toplam değeri 29.5 trilyon dolardır. (companiesmarketcap.com) Bu tarih itibarıyla rwa.xyz üzerinden elde edilen verilere göre tokenize edilen altın varlıklarının (Tether Gold, Paxos Gold, Matrixdock Gold, Comtech Gold, tGold, WisdomTree Gold ve VNX Gold) toplam değeri yaklaşık 2.9 milyar dolardır. Bu da yaklaşık toplam altın değerinin binde birini oluşturmaktadır.

RWA’ların Gelişimini Anlamak

Tokenize edilmiş varlıkların yıllara göre gelişimini anlamak adına bu konuda yayınlanmış raporların incelenmesine de yer verilmesi gerekmektedir. Zira tokenizasyon ve bu varlıkların gelişim süreçlerinin küresel çapta gördüğü ilgi ve önem de bu sayede görülebilir. Ayrıca önemli kurumlar tarafından hazırlanan ilgili raporlar birçok otorite ve aktör tarafından dikkate alınıp aksiyonlar almada enformasyon sağlayan belgelerdir.

Coingecko (2015) tarafından yayımlanan RWA raporu bu konuda önemli raporlardandır. Rapora göre Ocak 2024 – Nisan 2025 yılları arasında stabil koin miktarı 97 milyar dolar artarak 225 milyar dolar ile yaklaşık yüzde 76 oranında çok ciddi bir artış göstermiştir. Emtia destekli varlıklar ise aynı dönemde 774 milyon dolar artarak 1.9 milyar dolar olarak gerçekleşmiş ve yaklaşık yüzde 68 artmıştır. Bu durum yatırımcıların jeopolitik ve makroekonomik belirsizliğin ortasında güvenli limanlara akın etmesi nedeniyle büyümenin neredeyse tamamı gerçekleşen tokenizasyon sürecinden ziyade altın fiyatlarındaki büyük artışa bağlanabilir. Bununla birlikte, emtia destekli tokenlerin toplam piyasa değeri, fiat destekli stabil koinlerin piyasa değerinin yalnızca yüzde 0,8'ini temsil etmektedir. Aslında, emtia destekli tokenlerin büyüme oranı, görünen büyük farka rağmen hala fiat destekli stabil koinlerin gerisinde kalmaktadır. (Yüzde 76’lık büyümeye karşın %68’lik büyüme). Kısacası altın fiyatlarındaki artışa rağmen değeri 1 dolara sabitlenmiş, değer artışı gerçekleşmeyen stabil koinlerde tokenizasyon ve büyüme çok daha fazla olmuştur. Bu da zincir içi emtialara olan talebin bu dönemde artmadığı anlamına gelmektedir. Aynı zamanda USDT stabil koinlerin oluşturucusu Tether şirketi tarafından oluşturulan Tether Altın (XAUT) ve Paxos Trust Company tarafından oluşturulan PAX Altın (PAXG) tokenize edilmiş değerli metallerin piyasa değerinin yüzde 84'ünü oluşturmaktadır.

Tokenize hazine varlıklarının piyasa değeri ise, Nisan 2025'te tüm zamanların en yüksek seviyesi olan 5,6 milyar dolara yükselmiştir. Bu artış bu dönemde, yüzde 545'lik büyüme ya da 4,7 milyar dolarlık artışı temsil etmektedir. Bu artış da hazine varlıklarını son bir yılın en iyi performans gösteren RWA sınıfı haline getirmektedir.

Piyasa değerindeki en büyük değişimlerden biri, ABD'nin önemli ticaret tarifeleri açıklamasıyla birlikte küresel ekonomik görünümün daha da kötüye gitmesiyle Mart 2025'te gerçekleşmiştir. Rapora göre tokenize hazine piyasa değeri Mart ve Nisan 2025 ayları arasında 2,3 milyar dolar (yüzde 67,1) artış yaşamıştır.

BlackRock'ın BUIDL ürünü Temmuz 2024'te piyasaya sürülmesine rağmen Nisan 2025 itibarıyla yüzde 44'lük pazar payıyla en büyük tokenize hazine ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. 2025'in başından bu yana yüzde 373 oranında büyüyen ürün, Nisan ayı sonunda 2,5 milyar dolar değere ulaşmıştır.

Bunlarla birlikte, tokenize edilmiş hazine varlıklarının yalnızca 11.000 civarında bir adreste tutulması bu ürünlere sahip kişilerin hala az sayıda olduğunu göstermektedir.

Rapora göre özel krediler, onchain özel kredi sektörü, Nisan 2025 sonu itibarıyla toplam aktif kredilerde 546,8 milyon dolar değere ulaşmıştır. Ancak bu rakam, 2022 yılında ulaştığı 1,6 milyar doları aşan zirvesinden oldukça uzakta bulunmaktadır.

Maple Finance, 30 Nisan itibarıyla toplam 374 milyon dolar tutarındaki aktif kredilerle en büyük özel kredi protokolü olmuştur ve ilk 6 özel kredi protokolü arasında ödenmemiş kredilerin yüzde 67'sini oluşturmaktadır. Bu sektördeki artan pazar payına rağmen Maple Finance, RWA'nın diğer alanlarına da yayılmak için fiat destekli bir stabil kripto para ürünü olan syrupUSDC'yi de piyasaya sürmüştür.

Redston (2025)'un araştırma raporuna bakıldığında ise benzer sonuç ve çıkarımlara ulaşıldığı görülebilir.

Rapora göre RWA tokenizasyonu 2022'de 5 milyar dolar seviyelerinde iken Haziran 2025'e kadar 24 milyar dolar seviyesine çıkarak yaklaşık yüzde 380'lik büyüme

kaydetmiştir. Bu büyümeyle birlikte RWA'lar kripto para piyasalarının stabil koinlerden sonra en hızlı büyüyen ikinci sektörü haline gelmiştir. Raporda finansal projeksiyonların, küresel varlıkların yüzde 10-30'unun 2030-2034 yılları arasında tokenleştirilebileceğini, RWA'ların geleneksel finansın 400 trilyon dolardan fazla varlığını blok zincirine aktaracağını ve bunun da kripto paraların mevcut yaklaşık 3 trilyon dolarlık piyasa değerinden 130 kat daha büyük olduğunu gösterdiği belirtilmiştir.

Tokenize edilmiş gerçek dünya varlık piyasası Aralık 2024 itibarıyla 15,2 milyar dolara ulaşmış ve Haziran 2025 itibarıyla 24 milyar doların üzerine ulaşan büyümeyi sürdürmüştür.

BlackRock, JPMorgan, Franklin Templeton ve Apollo gibi büyük finans kurumları tokenizasyonu bir deney olarak göremenin ötesine geçerken, hükümetler blok zincirini eski finansal sistemleri modernleştirmek ve temel makroekonomik zorlukların üstesinden gelmede temel altyapı olarak giderek daha fazla kabul etmeye başlamıştır.

Özel krediler Haziran 2025 itibarıyla 14 milyar dolar ile en büyük RWA tokenizasyon alanı olarak ortaya çıkmış ve kurumsal anlamda blok zinciri tabanlı kredi piyasalarına yönelik ilgiyi de göstermiştir. Bunun ilginin arkasındaki motivasyon aslında çok açıktır. Zira tokenleştirme esasında operasyonel maliyetleri düşürerek, erişilebilirliği ve dağıtımı iyileştirmekte ve güçlü ikincil likidite piyasaları için potansiyel yaratarak sektörün temel kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır.

4.2.3. Tokenizasyon Süreci

Varlık tokenizasyonu, gayrimenkul, tahvil veya emtia gibi gerçek dünya varlıklarının blok zinciri ağlarında işlem yapan dijital tokenlere dönüştürmeyi ifade eder. Bu yenilik likiditeyi artırır ve kısmi mülkiyete izin verir, böylece yatırımcılar yüksek maliyet endişesi taşımadan yüksek değerli varlıklara erişebilirler. Uygulamada, tokenize edilmiş hazine fonları, kripto yatırımcılarının daha hızlı pozisyon alma kabiliyeti kazanırken getiri aramasına da olanak tanır ve yüksek maliyetli varlıkların kısmi mülkiyeti, bireyler için yatırım fırsatları açar (Elad ve Kinder, 2025).

Gerçek dünya varlıkları (RWA), bir blok zinciri platformunda kolayca satın alınabilmeleri, satılabilmeleri ve takas edilebilmeleri için blok zinciri teknolojisi tarafından mümkün kılınan tokenizasyon süreci aracılığıyla dijital tokenlere dönüştürülür. Blok zinciri ağları, birçok bakımdan fiziksel varlıkların tokenize edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Sürecin ilk adımları, tokenleştirilecek gerçek dünya varlığının belirlenmesi ve değerinin tespit edilmesidir. Gayrimenkulden güzel sanatlara, emtialara veya fikri mülkiyete kadar her şey bir varlık olarak kabul edilebilir. Varlığın değeri belirlenir ve dijital tokenlere bölünmesi konusunda bir seçim yapılır.

Sonrasında ise tüm kural ve düzenlemelere uyulduğunun teyit edilmesi kritik önem taşımaktadır. Geçerli kurallara bağlı kalarak tokenleştirmeyi kolaylaştırmak için Özel Amaçlı Araçlar (SPV'ler) gibi tüzel kişilikler geliştirilebilir. Bir SPV, varlıkların tutulması ve yönetilmesi, riskin azaltılması veya yatırımların kolaylaştırılması gibi belirli, genellikle tek bir finansal amaç için oluşturulur. Bu tüzel kişilikler süreci takip eder ve denetim mekanizması olarak da iş görürler.

Akıllı sözleşmelerin oluşturulması ise sonraki adımdır. Tokenlerin nasıl oluşturulacağını, yönetileceğini ve alınıp satılacağını belirleyen blok zinciri tabanlı akıllı sözleşmeler oluşturulur. Çeşitli süreçlerin otomatikleştirilmesi ve üzerinde mutabık kalınan bir şekilde yürütülmelerinin garanti edilmesi akıllı sözleşmelere bağlıdır.

Bir sonraki adım, RWA için uygun bir blok zinciri ağı seçmektir. Örneğin, akıllı sözleşmeleri desteklediği ve güçlü bir geliştirici topluluğuna sahip olduğu için Ethereum seçilebilir. Tokenleştirme özelliklerine sahip diğer platformları kullanmak da mümkündür.

Fiziksel varlık üzerindeki mülkiyeti veya hakları temsil eden dijital tokenlerin oluşturulması. Tipik olarak her bir token varlığın değerinin küçük bir kısmını temsil eder. Bu tokenler seçilen blok zinciri kullanılarak geliştirilir ve sıklıkla ethereum tabanlı tokenler için ERC-20 gibi köklü token standartlarını takip eder.

Sonraki aşamada mülkiyet kaydı oluşturulur. Blok zincirinde görünür ve değiştirilemez bir defter, kimin hangi tokenlere sahip olduğunu takip eder. Blok zinciri alımlar, satışlar ve transferler dahil olmak üzere bu tokenleri içeren tüm işlemlerin kaydını

tutar. Açıklığın sağlanması, hırsızlığın veya sahiplik çatışmalarının önlenmesine yardımcı olur.

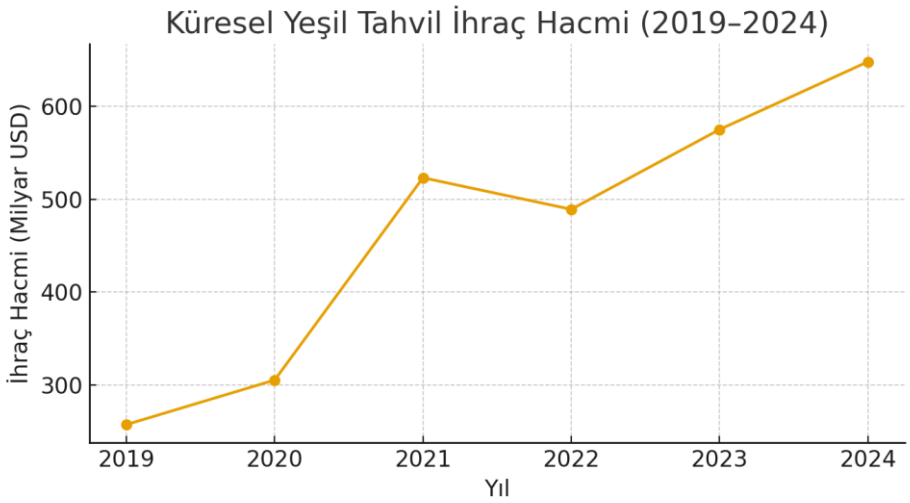
RWA tokenlerinin temelini oluşturan fiziksel varlığın korunması, etkili saklama çözümleri gerektirir. Bu saklama çözümleri, gayrimenkul gibi maddi varlıklar için fiziksel güvenlik önlemlerini veya dijital varlıklar için güvenli depolamayı içerebilir.

Bu tokenize varlıkların satın alınabileceği, satılabileceği ve ticaretinin yapılabileceği bir borsa veya platform oluşturulur. Bu platformlar, kripto para borsalarıyla sık sık entegre olarak yatırımcıların tokenlere erişimini ve ticaretini kolaylaştırır. Ayrıca hali hazırdaki borsalar veya diğer merkeziyetsiz finans platformlarında işleme alınabilir.

Fiziksel varlıkların tokenleştirilmesi, bu varlıkların erişilebilirliğini ve likiditesini artırabilecek bir uygulamadır. Sıkı alım satım kısıtlamaları ve pahalı giriş engelleri olan geleneksel piyasaların aksine, yatırımcılar bu tokenleri günün her saati alıp satabilir ve bu da onları daha erişilebilir hale getirir.

4.2.4. Yeşil Tahvillere İlişkin Veri Analizleri

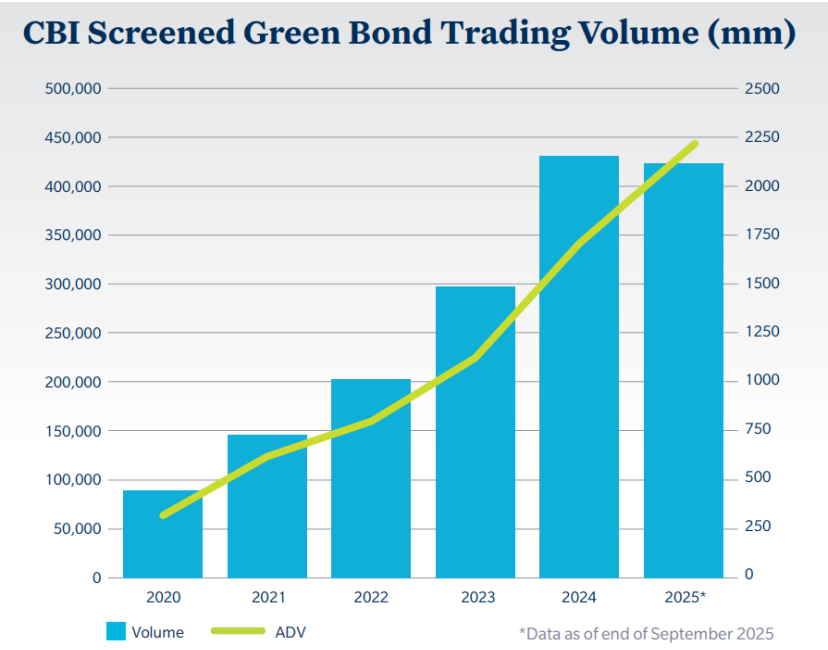
Yeşil tahvillerin sürdürülebilir finansman adına ortaya çıkışı ve sonrasındaki süreçte piyasasının gelişimine küresel ve bölgesel bakmak bu tahvillerin gelişim sürecini ortaya koymak adına önemli olacaktır. Bununla birlikte sürdürülebilir bir gelecek adına ortaya çıkan sürdürülebilir finansman araçlarından biri olan bu tahvillerin amacına uygun kullanımını sağlamak ve artırmak küresel olarak tüm paydaşların ortaya koyacağı ortak bir amaç olması yönüyle de fazlasıyla önem arz etmektedir.



Şekil 21. Küresel Yeşil Tahvil İhraç Hacmi

Kaynak: Climate Bonds Initiative (2024)

Şekil 21'de 2019–2024 dönemi arasında yeşil tahvil ihraç hacimlerinde belirgin bir artış trendi göze çarpmaktadır. Grafikteki eğri, özellikle 2021 yılında keskin bir yükseliş, 2022'de kısa bir gerileme, ardından 2023 ve 2024'te yeniden güçlü bir toparlanma göstermektedir. Bu durum, küresel sürdürülebilir finans piyasalarının pandemiden sonra hızla büyümesi ve yatırımcı ilgisinin yeniden artmasıyla oldukça uyumlu bir yapı çizmektedir.



Şekil 22. Yeşil Tahvil İşlem Hacimleri

Kaynak: Tradeweb (2025)

Şekil 22'de, CBI (Climate Bonds Initiative) tarafından taranan yeşil tahvillerin işlem hacmindeki (trading volume) yıllık değişim gösterilmektedir. 2020–Eylül 2025 dönemini kapsayan bu veriler, küresel yeşil tahvil piyasasının giderek artan bir işlem yoğunluğuna ulaştığını ortaya koymaktadır.

Mavi sütunlar toplam işlem hacmini (milyon dolar cinsinden), sarı çizgi ise günlük ortalama işlem hacmini (ADV – Average Daily Volume) temsil etmektedir. 2020 yılında yaklaşık 100 milyar dolar seviyesinde olan toplam işlem hacmi, 2024 itibarıyla 400 milyar doların üzerine çıkmıştır. 2025 yılı Eylül ayı itibarıyla da bu hacim 2024 düzeyine yakın seyretmektedir. 2020 yılında 500 milyon doların altında olan günlük ortalama işlem hacmi, yıllar içinde istikrarlı bir artış göstererek 2025 yılı itibarıyla 2 milyar dolar seviyesine yaklaşmıştır. Bu artış, yeşil tahvillerin yatırımcılar arasında daha yaygın biçimde alınıp satıldığını ve piyasanın derinliğinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir.

Çin Yeşil Tahvil Piyasası

Çin, son beş yılda Asya'nın en büyük yeşil tahvil ihraççısı konumuna gelmiştir. Çin Halk Bankası (The People's Bank of China)'nın düzenlemeleri ve karbon nötr hedefi bu gelişimi desteklemiştir. Ayrıca Çin'in yeşil tahvil piyasasının büyüklüğü ve bu piyasaların işlem hacmi giderek artmaktadır.

Tablo 6. Çin Yeşil Tahvillerinin Yıllık ve Ortalama Çeyreklik Getirileri

Yıl	Yıllık Toplam Getiri (%)	Ortalama Çeyreklik Getiri (%)
2019	5,0	1,25
2020	5,3	1,33
2021	5,74	1,44
2022	5,0	1,25
2023	5,5	1,38
2024	5,2	1,30

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 6, ChinaBond China Green Bond Index'in 2019–2024 dönemine ilişkin yıllık ve ortalama çeyreklik toplam getiri oranlarını göstermektedir. Veriler, Çin yeşil tahvil piyasasının genel performansını temsil eden bu endeksin zaman içindeki getiri eğilimini ortaya koymaktadır. 2019 ve 2021 yıllarına ait değerler, sırasıyla Climate Bonds Initiative ve MSCI tarafından yayımlanan raporlardan elde edilmiştir. Diğer yıllar için getiriler, ChinaBond bileşik endeks eğilimleri, PBoC faiz oranları ve yeşil tahvil ihraç hacimlerindeki değişimler dikkate alınarak tahmini olarak hesaplanmıştır. Bulgular, Çin yeşil tahvil piyasasının söz konusu dönemde istikrarlı fakat sınırlı dalgalanmalarla pozitif bir getiri profili sergilediğini göstermektedir.

ABD Yeşil Tahvil Piyasası

ABD, özel sektör kaynaklı yeşil tahvil ihraçlarında dünya lideri konumundadır. Kurumsal yatırımcılar, ESG uyumlu stratejiler kapsamında yeşil tahvillere yoğun ilgi göstermektedir.

Tablo 7. ABD Yeşil Tahvil Piyasasında Yıllık Ortalama Getiri ve Greenium

Yıl	Yıllık Ortalama Getiri (%)	Greenium (baz puan)
2019	9,7 %	−8 bp
2020	6,53 %	−9 bp
2021	−2,54 %	−6 bp
2022	−12,99 %	−5 bp
2023	6,52 %	−4 bp
2024	2,96 %	−3 bp

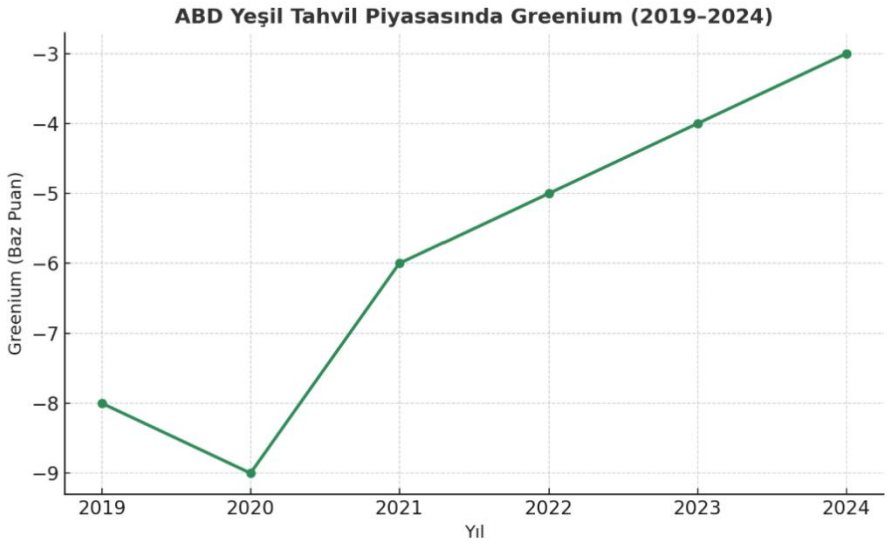
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablodaki veriler, ABD dolar cinsinden yeşil tahvil piyasasının genel eğilimini temsil eden yüksek doğruluğa sahip göstergelerdir. 2019 yılı greenium değeri Fed (2019) çalışmasından, 2020–2024 dönemi getirileri ise BlackRock BGRN ETF performans verilerinden türetilmiştir.

Buna göre, yeşil tahvillerin getirilerinde dönemsel dalgalanmalar yaşanmıştır. 2019 ve 2020 yıllarında pozitif getiri oranları görülürken, 2021 ve özellikle 2022 yıllarında belirgin düşüşler yaşanmıştır. 2023 yılı itibarıyla piyasa toparlanma eğilimine girmiş ve pozitif getiriler yeniden ortaya çıkmıştır. Bu eğilim, ABD yeşil tahvil piyasasının küresel ekonomik koşullardan ve faiz oranı değişimlerinden güçlü biçimde etkilendiğini, ancak uzun vadede istikrar kazanma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Greenium, yeşil tahvillerin getirisi ile aynı vadeli geleneksel tahvillerin getirisi arasındaki farktır. Negatif greenium, yatırımcıların çevresel fayda için daha düşük getiriye razı olduklarını gösterir (Baker vd., 2021).

Greenium verilerin grafiksel gösterimine işe Şekil 23'de yer verilmiştir.



Şekil 23. ABD Yeşil Tahvil Piyasasında Greenium

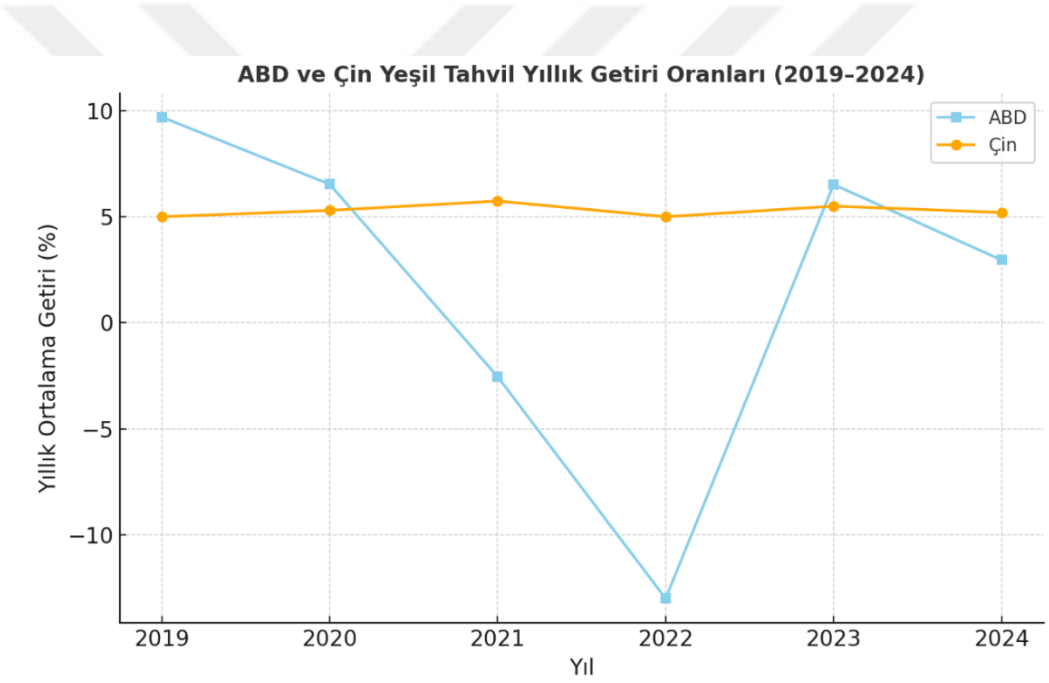
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Şekil 23'de verilen grafik, ABD yeşil tahvil piyasasında yeşil tahviller ile benzer vadeli geleneksel tahviller arasındaki getiri farkını (greenium) göstermektedir. Negatif değerler, yeşil tahvillerin geleneksel tahvillere kıyasla daha düşük getiriyle işlem gördüğünü, yani yatırımcıların çevresel etki için bir "prim" ödemeye razı olduklarını ifade eder.

Grafikte 2019–2020 yıllarında greeniumun −8 ila −9 bp seviyelerinde olduğu, 2021'den itibaren ise farkın giderek azaldığı görülmektedir. Bu durum, ABD yeşil tahvil piyasasında zamanla fiyat farkının daraldığını ve piyasanın olgunlaştığını göstermektedir.

Getiri Oranları, Likidite ve İşlem Hacmi Karşılaştırması

Şekil 24, ABD ve Çin yeşil tahvil piyasalarının 2019–2024 yılları arasındaki yıllık ortalama getiri oranlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Görselde, Çin yeşil tahvil piyasasının getirilerinin dönem boyunca istikrarlı ve düşük volatiliteye sahip olduğu, ABD piyasasının ise özellikle 2021–2022 döneminde yüksek dalgalanma sergilediği görülmektedir. 2022 yılında ABD'deki negatif getiri, küresel faiz artışları ve riskten kaçış eğilimiyle ilişkilendirilebilirken; 2023'teki toparlanma, yatırımcı güveninin yeniden artmasına işaret etmektedir. Bu sonuçlar, ABD piyasasının küresel finansal koşullara karşı daha duyarlı, Çin piyasasının ise istikrarlı bir getiri profiline sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 24. ABD ve Çin Yeşil Tahvil Yıllık Getiri Oranları

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Tablo 8, BIS (2024) ve Refinitiv (2024) tarafından yayımlanan piyasa verilerinden derlenmiştir. Veriler, 2023 yılı değerlerini gösterirken, yeşil tahvil piyasalarının ortalama bid–ask spread ve günlük işlem hacmi göstergelerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

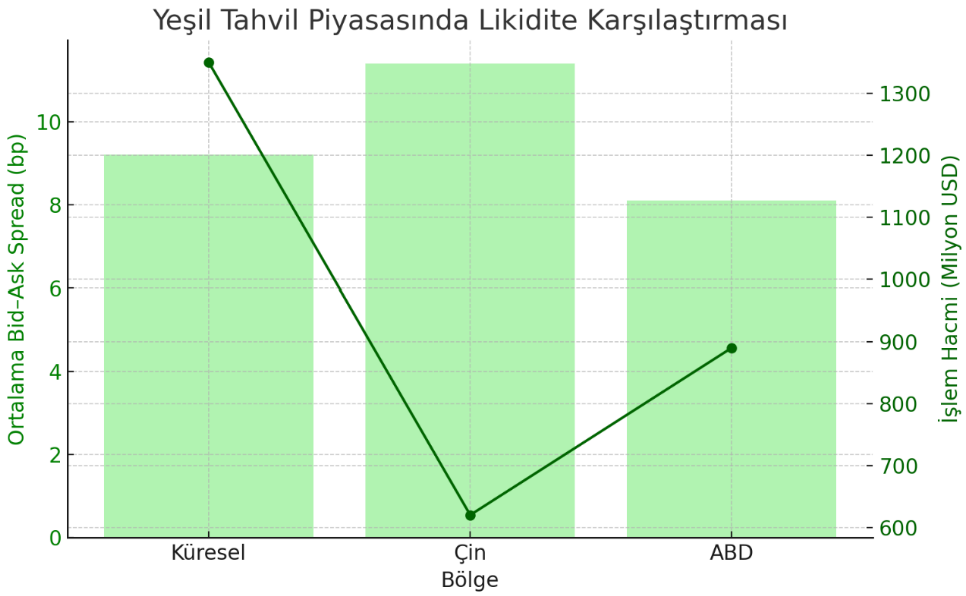
Tablo 8. Yeşil Tahvil Piyasalarında Bölgesel Likidite ve İşlem Hacmi Karşılaştırması

Bölge	Ortalama Bid–Ask Spread (bp)	Günlük Ortalama İşlem Hacmi (Milyon USD)
Küresel	9,2	1350
Çin	11,4	620
ABD	8,1	890

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

Bid–ask spread, bir finansal varlığın (örneğin yeşil tahvilin) alıcıların ödemeye razı olduğu en yüksek fiyat (bid) ile satıcıların kabul etmeye razı olduğu en düşük fiyat (ask) arasındaki farkı ifade eder. Bid–ask spread, bir piyasadaki likidite düzeyini ve işlem maliyetini gösterir. Spread ne kadar dar ise, o varlık o kadar kolay ve düşük maliyetle alınıp satılabilir. Düşük spread, piyasa katılımcıları arasında bilgi asimetrisinin az, fiyat oluşumunun daha etkin olduğunu gösterir. Geniş spread, genellikle yüksek belirsizlik, düşük işlem hacmi veya volatilite artışı ile ilişkilidir. Özetle, bid–ask spread piyasanın likiditesini, etkinliğini ve risk algısını aynı anda yansıtan bir ölçüttür.

Tablo 8 incelendiğinde ABD piyasası 8,1 baz puanlık en düşük bid–ask spread ile en yüksek likiditeye sahip görünürken, Çin piyasasında 11,4 baz puanla likidite görece sınırlıdır. Günlük işlem hacimleri incelendiğinde, küresel ortalama 1,35 milyar USD ile piyasanın artan derinliğine işaret etmektedir. Veriler, yeşil tahvil piyasalarının olgunlaşma sürecinde bölgesel likidite farklılıklarının sürdüğünü göstermektedir. Şekil 25'te bu tablonun grafik gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 25. Yeşil Tahvil Piyasasında Likidite Karşılaştırması

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur

4.3. Uygulama ve Bulgular

4.3.1 Veri Seti, Kapsam ve Sınırlılıklar

Bu çalışmada, altın piyasasında geleneksel ve tokenize varlıkların işlem hacimlerinin zaman serisi analizine dayalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Analiz kapsamında üç farklı finansal varlığa ilişkin veri kullanılmıştır: Chicago Mercantile Exchange (CME) üzerinde işlem gören fiziksel altın vadeli kontratları (Yahoo Finance, 2025), PAX Gold (PAXG) ve Tether Gold (XAUT) olarak bilinen tokenize altın varlıkları (Coingecko, 2025). Çalışmada her bir varlık için günlük ve haftalık işlem hacimleri dikkate alınmış, toplamda beş ayrı zaman serisi oluşturulmuştur.

Tokenize edilmiş finansal varlıkların ortaya çıkışı yakın geçmişe tekabül etmese de bu pazarın büyüyüp benimsenmesi yakın geçmişe dayanmaktadır. Özellikle yüksek hacimlere sahip, finansal piyasalarda benimsenmiş varlıkların birçoğunun tokenizasyonu geçtimiz birkaç yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Bu durum ise tokenize edilmiş varlıklara ilişkin güvenilir ve anlamlı verilere ulaşmayı oldukça sınırlı bir hale getirmiştir. Araştırmanın sınırlıklarını da oluşturan bu veri yetersizliğini aşabilmek için görece ortaya

çıkışı eski tarihlere dayanan, piyasası oturmaya başlamış ve ulaşılabilir verileri olan varlıklar üzerinden güvenilir veriler bulunabileceği tarihler itibarıyla bir araştırma yapmak daha anlamlı ve gerçekçi bir hale gelmiştir. Tüm bu sebeplerden ötürü veri seti, 2024 yılı Ekim ayından 2025 yılı Ekim ayına kadar olan dönemi kapsamaktadır. Her bir seride gözlem sayısı farklılık göstermektedir: CME altın serisi için 253 günlük ve 53 haftalık, PAXG serisi için 366 günlük ve 53 haftalık, XAUT serisi için ise 366 günlük veri bulunmaktadır. Bu veriler, son bir yıllık dönemi kapsayacak şekilde güncellenmiş ve analizler en son 2025 yılı Ekim ayı itibarıyla yapılmıştır. Verilerin analizinde Stata kullanılmıştır.

Zaman serisi analizinde kullanılan temel değişken, işlem hacmidir. İşlem hacmi, ilgili piyasadaki aktivite düzeyini, yatırımcı ilgisini ve piyasanın likiditesini yansıttığından finansal piyasa analizlerinde önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, çalışmada kullanılan yöntemler yardımıyla kısa ve uzun vadeli trendlerin, volatilitenin ve piyasa momentumunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

4.3.2 Kullanılan Tahmin Modelleri

Bu bölümde, zaman serisi verilerinin kısa dönemli tahminlerinde yaygın olarak kullanılan üç temel yöntem ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır. Bu yöntemler; **Naive (Basit Devam) Tahmini**, **4 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(4))** ve **12 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(12))** yöntemleridir. Söz konusu modeller, farklı düzeylerde bilgi kullanımına ve geçmiş gözlemlere dayanmaktadır. Bu kapsamda, kısa dönemli öngörülerin güvenilirliğini test etmek ve serinin eğilimlerini belirlemek amacıyla bu yöntemler kullanılmıştır. Aşağıda her bir yöntem, formülleriyle birlikte ayrıntılı biçimde tanıtılmaktadır.

4.3.3. Naive (Basit Devam) Tahmini

Naive yöntemi, zaman serisi analizinde en basit tahmin yaklaşımı olarak kabul edilir. Bu yöntemde bir sonraki dönemin değeri, mevcut dönemin değeriyle eşit kabul edilir. Başka bir deyişle, serinin geçmiş trendi, yapısal bir model veya ortalama etkisi dikkate alınmaksızın, son gözlemin gelecekte de devam edeceği varsayılır. Bu özellik, Naive

yöntemini özellikle kısa vadeli tahminlerde bir karşılaştırma (benchmark) modeli olarak kullanışlı hale getirir.

$$\hat{y}_{t+1} = y_t$$

Burada, $\hat{y}_{t+1}$ bir sonraki dönemin tahmin edilen değerini, y_t ise son gözlemi ifade eder. Yöntem, veri setinde ani değişimlerin veya trend dönüşlerinin olmadığı, durağan ve kısa vadeli serilerde genellikle tatmin edici sonuçlar verir. Ancak yapısal kırılmaların olduğu dönemlerde yüksek hata oranı verebilir.

4.3.4. Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(4))

Basit Hareketli Ortalama (Moving Average - MA) yöntemi, geçmiş döneme ait belirli sayıda gözlemin ortalamasını alarak bir sonraki dönemin değerini tahmin etmeyi amaçlar. MA(4) modeli, son dört dönemin ortalamasını dikkate alır ve kısa vadeli trendleri izlemek için uygundur. Bu yöntem, son gözlemlere eşit ağırlık vererek serideki kısa dönemli dalgalanmaları yumuşatır.

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} y_{t-i}$$

Burada, k = 4 olarak alınmıştır. Bu durumda, tahmin edilen değer dört önceki gözlemin ortalamasıdır. Bu yöntem, serideki ani dalgalanmaların etkisini azaltır ve kısa vadeli eğilimleri belirginleştirir. Ancak, yeni verilere tepki süresi sınırlı olduğundan, hızlı değişen piyasa koşullarında gecikmeli tepkiler üretebilir.

4.3.5. 12 Dönemlik Basit Hareketli Ortalama (MA(12))

MA(12) modeli, son on iki dönemin ortalamasını alarak uzun vadeli eğilimlerin tahmin edilmesine olanak sağlar. Bu yöntem, kısa dönemli dalgalanmaları daha güçlü biçimde filtreler ve serinin genel yönü hakkında daha istikrarlı bir görünüm sunar. Uzun vadeli tahminlerde gürültüyü azaltmak açısından etkilidir; ancak kısa vadeli değişimlere duyarlılığı MA(4) modeline göre daha düşüktür.

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} y_{t-i}$$

Burada, k = 12 olarak alınmıştır. Yani tahmin, son on iki döneme ait gözlemlerin ortalamasına dayanır. Bu yöntem, daha uzun zaman dilimlerinde serinin genel eğilimini anlamak için uygundur. Ancak, yüksek k değerleri serinin son dönemdeki ani değişimlerini maskeleyebileceğinden, kısa vadeli tahmin performansını zayıflatabilir.

Naive yöntem, serinin mevcut durumunu doğrudan yansıtması açısından en basit modeldir. MA(4) yöntemi, kısa vadeli eğilimlerin belirlenmesine odaklanırken; MA(12) yöntemi uzun dönemli genel eğilimleri analiz etmekte kullanılır. Kısa vadeli tahminlerde MA(4) yöntemi daha duyarlıdır, ancak yüksek volatiliteye sahip serilerde hataya açık olabilir. MA(12) yöntemi ise dalgalanmaları yumuşatarak uzun vadeli analizlerde daha istikrarlı sonuçlar verir. Dolayısıyla, analiz amacına göre bu üç yöntem bir arada kullanılarak kısa ve uzun dönemli öngörüler arasında denge sağlanabilir.

4.3.6. Analiz Bulguları

Bu bölümde, Altın (CME), PAXG ve XAUT piyasalarına ait işlem hacmi serileri üzerinde temel zaman serisi tahmin yöntemleri uygulanmıştır. Analiz kapsamında günlük ve haftalık frekansta veriler kullanılmıştır. Her bir seriye ait gözlem sayısı, son gözlem tarihi ve tahmin değerleri **MA(4), MA(12)** ve **Naive** tahminleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Aşağıda kullanılan göstergeler ve yöntemler kısaca tanımlanmıştır:

• *n_obs:* Veri setindeki gözlem sayısı

• *last_date / last_value:* Son gözlemin tarihi ve işlem hacmi

• *MA4_forecast(1):* Son dört dönemin ortalamasına dayalı bir dönem sonrası tahmin

• *MA12_forecast(1):* Son on iki dönemin ortalamasına dayalı bir dönem sonrası tahmin

• *Naive_forecast(1):* Son gözlemi aynen devam ettiren basit tahmin

Yukarıda verilen bilgiler ışığında altın piyasasında geleneksel ve tokenize varlıkların işlem hacimlerinin zaman serisi analizi için kullanılan her üç yöntemin sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. Altın Piyasasında Geleneksel ve Tokenize Varlıkların İşlem Hacimleri Tahmin Modelleri Sonucu

Series (kısaltılmış)	n_obs	last_date	last_value	MA4_forecast(1)	MA12_forecast(1)	Naive_forecast(1)
Altın Son Bir Yıl Günlük İşlem Hacmi - Sadece CME (...)	253	2025-10-17	1.093311e+11	2.827855e+10	9.976798e+09	1.093311e+11
Altın Son Bir Yıl Haftalık İşlem Hacmi - Sadece CME (...)	53	2025-10-20	1.131142e+11	3.321719e+10	1.603394e+10	1.131142e+11
PAXG Son bir yıl günlük işlem hacmi.xlsx	366	2025-10-17	6.855439e+08	4.538112e+08	3.250051e+08	6.855439e+08
PAXG Son bir yıl haftalık işlem hacmi.xlsx	53	2025-10-20	1.815245e+09	1.452523e+09	8.549315e+08	1.815245e+09
XAUT Son Bir Yıl Günlük işlem hacmi.xlsx	366	2025-10-17	5.384700e+08	4.502724e+08	3.029407e+08	5.384700e+08

Tablo 9 incelendiğinde; *CME üzerinde işlem gören altın kontratları* için hem günlük hem haftalık işlem hacmi verileri incelenmiştir. Günlük seride son gözlem değeri yaklaşık $1{,}09 \times 10^{11}$, haftalık seride ise $1{,}13 \times 10^{11}$ olarak tespit edilmiştir. Günlük verilerde, kısa vadeli hareketli ortalama (MA(4)) değeri $2{,}83 \times 10^{10}$, uzun vadeli ortalama (MA(12)) değeri ise $9{,}97 \times 10^{9}$ olarak hesaplanmıştır. Bu fark, son dönemde işlem hacimlerinde önemli bir sıçrama yaşandığını göstermektedir. Kısa ve uzun vadeli ortalamaların son değerin oldukça gerisinde kalması, piyasada ani bir likidite artışı ve yüksek volatiliteye işaret etmektedir. Haftalık seriler de benzer bir eğilim göstermektedir. MA(4) değeri $3{,}32 \times 10^{10}$, MA(12) değeri ise $1{,}60 \times 10^{10}$ olarak bulunmuştur. Her iki ortalamanın da son gözlem değerinden düşük olması, altın piyasasında özellikle son haftalarda işlem hacimlerinin hızla arttığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, CME altın piyasasında büyük yatırımcıların etkisiyle kısa vadede yoğun bir işlem aktivitesi ve volatilite yaşandığını göstermektedir.

Aynı şekilde Tablo 9 incelendiğinde; PAXG, tokenize altın piyasasında işlem gören bir dijital varlıktır ve fiziksel altına birebir dayalıdır. Günlük PAXG işlem hacmi serisinde son gözlem değeri $6{,}86 \times 10^8$, kısa vadeli ortalama $4{,}54 \times 10^8$, uzun vadeli ortalama ise $3{,}25 \times 10^8$ olarak hesaplanmıştır. Son değerlerin hem kısa hem uzun vadeli ortalamaların üzerinde olması, PAXG piyasasında son dönemde işlem hacimlerinin artış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

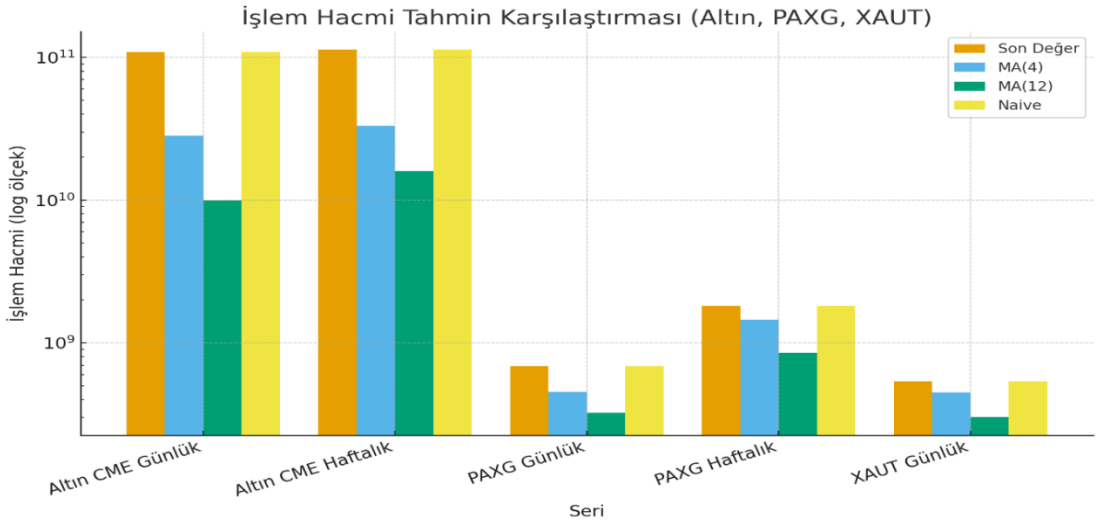
Haftalık bazda PAXG işlem hacmi $1{,}81 \times 10^9$ seviyesinde olup, bu değer hem MA(4) ($1{,}45 \times 10^9$) hem de MA(12) ($8{,}55 \times 10^8$) değerlerinden yüksektir. Bu sonuç, haftalık ölçekte de istikrarlı bir hacim artışı yaşandığını ortaya koymaktadır. CME piyasasına göre volatilite daha düşük olsa da, PAXG işlem hacimlerinde düzenli bir büyüme eğilimi gözlemlenmiştir.

Bu bulgular, PAXG yatırımcılarının uzun vadede daha dengeli hareket ettiklerini, ancak genel piyasa ilgisinin arttığını göstermektedir. Tokenize altın piyasasında istikrarlı bir şekilde büyüyen işlem hacimleri, dijital varlık piyasalarının altınla entegrasyonunun güçlendiğini de işaret etmektedir.

Tablo 9'a göre XAUT, bir diğer tokenize altın varlığı olup Tether tarafından ihraç edilmektedir. Günlük işlem hacmi verilerine göre son gözlem değeri $5{,}38 \times 10^8$, kısa vadeli ortalama (MA(4)) $4{,}50 \times 10^8$, uzun vadeli ortalama (MA(12)) ise $3{,}03 \times 10^8$ olarak bulunmuştur.

Son gözlem değerinin her iki ortalamanın da üzerinde olması, XAUT piyasasında da pozitif bir trendin varlığına işaret etmektedir. Ancak hacim seviyeleri PAXG'ye kıyasla daha düşük olup, bu durum piyasanın daha dar katılımcı kitlesine sahip olduğunu göstermektedir. Buna rağmen trend yönü pozitiftir ve yükseliş eğilimi belirgindir. Bu sonuç, tokenize altın piyasalarında genel olarak artan bir işlem hacmi momentumuna işaret etmektedir.

Tablo 9'da tüm yönleriyle irdelenen analiz sonuçları ayrıca Şekil 26'da sunulmuştur.



Şekil 26. Tahmin Modelleri Karşılaştırması

Şekil 26'da yer alan grafikte beş farklı varlığa (Altın CME Günlük/Haftalık, PAXG Günlük/Haftalık, XAUT Günlük) ilişkin dört tahmin değeri — Son Değer (gerçek hacim), MA(4), MA(12) ve Naive tahmin — logaritmik eksende karşılaştırılmıştır. Logaritmik ölçek kullanımı, farklı büyüklükteki piyasalarda oluşan hacim farklılıklarını normalize ederek serilerin karşılaştırılabilirliğini sağlamaktadır. Analiz sonuçlarına göre, özellikle Altın (CME) serilerinde Son Değer barı diğer tüm tahminlerin belirgin biçimde üzerindedir. Bu durum, son dönemde olağanüstü bir hacim artışının yaşandığını ve kısa vadeli ortalamaların bile bu değişime uyum sağlayamadığını göstermektedir. Söz konusu artış, büyük ölçekli yatırımcı işlemleri ya da piyasa şokları kaynaklı bir ani hacim sıçramasına işaret etmektedir.

Tokenize altın varlıklarını temsil eden PAXG ve XAUT serilerinde ise daha dengeli bir hacim dinamiği gözlenmiştir. PAXG serilerinde Son Değer > MA(4) > MA(12) sıralaması, piyasada istikrarlı bir yükseliş eğilimine ve trendin sürekliliğine işaret etmektedir. Naive tahminlerin Son Değer'e yakın seyretmesi, geçmiş eğilimlerin geleceğe taşındığını göstermektedir. XAUT serisinde de benzer biçimde artış yönlü bir hareket mevcuttur; ancak genel hacim düzeyi düşük olduğundan volatilite sınırlı kalmıştır. Bu sonuçlar, tokenize altın piyasalarının klasik altın piyasasına kıyasla daha istikrarlı fakat düşük hacimli bir büyüme eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3.7 Bulguların Değerlendirilmesi

Analiz sonuçları, genel olarak hem geleneksel altın piyasası (CME) hem de tokenize altın piyasaları (PAXG ve XAUT) açısından kısa vadede işlem hacimlerinde artış yönlü bir eğilimin olduğunu ortaya koymuştur. Tüm serilerde kısa vadeli ortalamanın (MA(4)) uzun vadeli ortalamadan (MA(12)) yüksek olması, piyasalarda pozitif momentumun varlığını göstermektedir.

CME altın piyasasında gözlenen ani hacim sıçramaları, piyasanın yüksek volatiliteye sahip olduğunu ve büyük yatırımcıların davranışlarından etkilenme düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, küresel ekonomik belirsizliklerin ve faiz politikalarındaki değişimlerin, büyük kurumsal fonların altın piyasasına giriş-çıkış hareketlerini hızlandırdığı bir döneme işaret etmektedir. CME piyasasında oluşan bu hacim dalgalanmaları, spot ve vadeli altın fiyatlarının kısa vadede sert şekilde değişmesine neden olabilmektedir.

Tokenize altın piyasalarına bakıldığında (PAXG ve XAUT), işlem hacimlerinin görece daha istikrarlı olduğu görülmektedir. Bu varlıklarda hem kısa hem uzun vadeli ortalamalar arasındaki fark CME kadar belirgin olmamakla birlikte, düzenli bir artış trendi mevcuttur. Bu durum, dijital altın ürünlerinin yatırımcılar arasında giderek daha fazla benimsenmeye başladığını ve portföy çeşitlendirmesi aracı olarak kullanılmaya başlandığını göstermektedir. Özellikle bireysel yatırımcıların, dijital varlık borsaları üzerinden altına erişimi kolaylaştıran bu tür tokenlara yönelmesi, işlem hacimlerinin istikrarlı bir şekilde büyümesine neden olmuştur.

PAXG serileri, tokenize altın varlıkları içinde en yüksek işlem hacmine sahiptir. Bu bulgu, PAX Gold'un yüksek güvenilirliği ve piyasa erişimi açısından öne çıktığını göstermektedir. XAUT serilerinde hacim seviyeleri daha düşük olmakla birlikte, artış yönü pozitiftir ve periyodik olarak yukarı yönlü hareketler gözlemlenmektedir. Bu durum, piyasanın henüz olgunlaşma sürecinde olduğunu ancak yatırımcı ilgisinin arttığını göstermektedir.

Tüm bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, geleneksel ve dijital altın piyasalarının dinamiklerinin farklılaştığı görülmektedir. CME piyasasında yüksek hacimli

ama dalgalı bir yapı hâkimken, tokenize altın piyasalarında daha düşük hacimli ancak istikrarlı bir büyüme eğilimi söz konusudur. Bu fark, piyasa katılımcılarının profillerinden kaynaklanmaktadır: CME piyasasında kurumsal yatırımcılar ve spekülatif işlemler baskınken, PAXG ve XAUT piyasalarında bireysel yatırımcı ve uzun vadeli tutum eğilimi daha güçlüdür.

Sonuç olarak, analiz edilen tüm serilerde işlem hacmi trendinin yukarı yönlü olduğu, yani altın ve altına dayalı dijital varlıkların her geçen gün daha fazla işlem gördüğü tespit edilmiştir. Bu bulgular, altın piyasasının hem geleneksel hem dijital kanallar üzerinden büyüme potansiyelinin sürdüğünü ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Finans konularına, ardından Sürdürülebilir Finansman araçlarına ve daha özelinde yeşil tahvillere değinilmiştir. Sonrasında Blok zinciri ve RWA'ların ortaya çıkışı ve işleyişi ele alınmış, geleneksel varlıklar ve tokenize varlıkların karşılaştırılabilmesi adına zaman serisi analizleri yapılmıştır.

Bu analizde, altın piyasasında geleneksel (CME) ve tokenize (PAXG, XAUT) varlıkların işlem hacimleri, zaman serisi analizine dayalı olarak incelenmiştir. Naive, MA(4) ve MA(12) tahmin modelleri kullanılarak kısa ve uzun vadeli trendler belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, tüm serilerde kısa vadeli ortalamaların uzun vadeli ortalamaların üzerinde olduğunu, dolayısıyla piyasaların genel olarak pozitif momentum taşıdığını göstermektedir. CME piyasasında yüksek hacimli ve volatil bir yapı görülürken, tokenize altın piyasalarında daha istikrarlı ancak büyüyen bir işlem hacmi gözlemlenmiştir.

CME piyasasındaki yüksek dalgalanmalar, küresel ekonomik gelişmelerin ve büyük yatırım fonlarının etkisiyle açıklanabilir. Buna karşın PAXG ve XAUT piyasaları, dijital varlık ekosisteminin gelişmesiyle birlikte uzun vadeli yatırımcı tabanının güçlendiği ve altın temelli tokenların güvenilir alternatifler olarak benimsendiği bir piyasa görünümü sunmaktadır.

Sonuç olarak, altın piyasasında geleneksel borsalar ve dijital platformlar arasında dinamik bir denge oluşmaktadır. Bu durum, finansal sistemin dijitalleşmesiyle birlikte yatırımcı davranışlarının da çeşitlendiğini ve yeni finansal ürünlerin benimsenme hızının arttığını göstermektedir.

Bu analiz sonuçları tokenize edilen bir finansal varlığın tokenize edildikten sonraki süreçte hacmindeki ve yatırımcı sayısındaki artışı göstermesi itibarıyla yeşil tahvillerin de tokenize edilmesi adına önemli bir göstergedir. Sürdürülebilir bir kalkınma ve gelecek için gerekli finansmanın sağlanması açısından çok önemli yapı taşlarından biri olan yeşil tahvillerin çeşitli dezavantajlara sahip olduğunu da söylemek gerekir. Bilinirliğinin az olması, yasal düzenlemelerle çerçevesinin tam olarak çizilememesi, belirlenmiş standartlarının tam olarak bulunmaması, borçlanma araçları piyasaları ile entegrasyonunun

zor olması ve hacim ve likiditesin düşük olması bu dezavantajların bazılarıdır. Ayrıca yeşil tahvillerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden bazıları yüksek işlem maliyetleri ve minimum sermaye gerekliliğinin yüksek olmasıdır.

Gelişen ve değişen dünyaya ayak uydurabilmek birçok konuda olduğu gibi finansal piyasalarda da oldukça önemli ve gereklidir. İşlemlerin fiziki olarak gerçekleştirildiği, borsalarda işlemlerin işlem kanıtı adına kağıt olarak alınıp satılması ile yapıldığı dönemler düşünüldüğünde geldiğimiz nokta oldukça farklıdır. Finansal varlıkların artık online platformlarda, fiziki olarak bir kanıt ya da işleme gerek kalmaksızın yapıldığı ve güvenliği de yetersiz olmayan sistemler üzerinden alınıp satıldığı bir döneme gelmiş bulunmaktayız. Finans piyasalarında gerçekleşen işlemlerin artması, enstrümanların çeşitlenmesi, ayrıca bunlara uygun hukuki düzenlemelerin de oluşturulması oldukça güvenli, hızlı ve pratik bir işleyişin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bugün ise geleneksel sistem ve altyapılardan çok daha farklı olan blok zinciri üzerinde bu işlemlerin gerçekleştirilmeye başladığını görmekteyiz.

Blok zinciri ile birlikte işlemlerin çok daha hızlı ve çok daha az maliyetle gerçekleştirildiği, araçlara ulaşımın çok daha kolay olduğu ve işlemler için herhangi bir zaman kısıtının olmadığı bir teknolojiye erişmiş bulunmaktayız. Tahviller ve hisseler gibi geleneksel finansal varlıkların bu teknoloji ile birlikte tokenize edildiği ve işleme alındığını görmekteyiz. Ulusal ve uluslararası otoritelerin de bu konudaki girişim ve uygulamaları desteklediği ve hatta ülkelerin kendi bütçelerinin bir kısmını bu teknoloji üzerinde bulunan varlıklarda bulundurduğu göz önüne alındığında bu gelişmelerin ortaya çıkması şaşırtıcı değildir. Ayrıca bu otoriteler bu konuda hukuki zeminleri de oluşturmaya başlayan, yatırımcılar için de güven sağlamak adına adımlar atan bir konumdadır.

Teknolojik ilerlemenin gün geçtikçe hızlandığı dünyada bu işleyişe ayak uydurmak yeşil tahviller için de gerekli ve önemli olacaktır. Blok zinciri teknolojisi sayesinde RWA alanında yaşanan gelişmeler bu süreçleri hızlı ve pratik oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Yeşil tahvillerin blok zinciri üzerinde tokenize edilmesi ve ilgili piyasalarda işlem görmesi bu tahvillerin 7/24 alınıp satılabilmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca bu tahvillere ulaşımın kolaylaşmasına, çok düşük ücretlerle ihraç edilmesi ve alınıp satılmasına, dolayısıyla da işlem hacimlerinde ve likiditesinde artışa sebep olacaktır. Buna ek olarak tokenizasyon varlıkların küçük birimlere bölünmesini de sağlamaktadır. Bu sayede, yüksek sermaye gerektiren yeşil varlıklarda sermaye ihtiyacını azaltılabilir, perakende ve küçük ölçekli

kurumsal yatırımcıların da bu varlıklara erişimini artırabilir. Tokenize edilmiş yeşil tahviller portföylerin çeşitlendirilmesinde de kullanılabilen bir varlık haline gelebilir.

Sürdürülebilir bir gelecek için gerekli olan sürdürülebilir finansman araçlarının rolünün bu denli büyük olması bu konudaki özveri ve çalışmaların aynı oranda büyük bir hassasiyetle ilerlemesini gerektirmektedir. Bu araçların ihracının ve kullanımının artmasının sağlanması bu anlamda oldukça elzem konudur. Bunun sağlanması için de atılacak adımlar ve ortaya konulacak alternatif çözümler yaşayacak bir geleceğimizin olup olmayacağını belirleyebilecek kadar önem arz etmektedir.

Öneriler

1.Politika Yapıcılar için: Tokenize altın varlıkları, finansal sistemin dijitalleşmesi açısından önemli bir yeniliktir. Düzenleyici kurumlar, bu tür varlıkların şeffaflık, güvenlik ve fiyat istikrarı açısından uluslararası standartlara uygun şekilde geliştirilmesini desteklemelidir.

2.Yatırımcılar için: Geleneksel altın piyasası yüksek volatiliteye sahip olduğundan, kısa vadeli fiyat dalgalanmalarına duyarlıdır. Buna karşılık, tokenize altın varlıkları daha istikrarlı bir yatırım ortamı sunmaktadır. Yatırımcılar portföy çeşitlendirmesinde her iki piyasa türünü birlikte değerlendirerek risk-getiri dengesini optimize edebilirler.

3.Finansal Kurumlar için: Bankalar ve finansal teknoloji şirketleri, tokenize varlıkların altyapısını güçlendirecek projelere yatırım yaparak bu yeni piyasa alanında rekabet avantajı elde edebilirler. Özellikle PAXG ve XAUT gibi varlıklara dayalı türev ürünlerin geliştirilmesi, piyasanın derinliğini artıracaktır.

4.Gelecek Çalışmalar için: Bu çalışmada yalnızca işlem hacimleri dikkate alınmıştır. Gelecek araştırmalarda, fiyat değişimleri, volatilite endeksleri, yatırımcı davranışı ve makroekonomik değişkenlerin etkileri de modele dâhil edilerek daha kapsamlı bir analiz yapılabilir. Ayrıca, farklı tokenize altın ürünlerinin karşılaştırmalı performans analizi, dijital varlık piyasalarının olgunlaşma sürecine ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

Aggarwal, S. ve Pathak, S. (2021). Green Bonds: A Catalyst for Sustainable Development. *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, 27(1), 2633-2651.

Al Hamrani, A.R. ve Al Hamrani N.R. (2025). The Main Determinants of Green Bond Issuance: A Systematic Review. *Open Journal of Accounting*, Vol.14, No:1, 2025, s. 67-93.

Alamgir, M. ve Cheng, M. C. (2023). Do green bonds play a role in achieving sustainability?. *Sustainability 2023,* 15(13), 10177.

Alarcon, L. J. ve Ng, C. (2018). Blockchain and the Future of Accounting. *Pennsylvania CPA Journal*, *Winter2018*, 3-7.

Aldasoro I., Aquilina M. , Lewrick U. ve Lim S. H. (2025). Bank for International Settlements, Stablecoin growth – policy challenges and approaches. https://www.bis.org/publ/bisbull108.pdf

Alsmadi, A. A., Al-Okaily, M., Alwashded, N., Al-Gasaymeh, A., Al-hazimeh, A. M. ve Zakari, A. (2023). A bibliometric analysis of green bonds and sustainable green energy: evidence from the last fifteen years (2007-2022). *Sustainability Journal*, 15(7).

Arif, M., Hasan, M., Alawi, S.M. ve Naeem, M. A. (2021). COVID-19 and Time-Frequency Connectedness Between Green and Conventional Financial Markets. *Global Finance Journal*, 49: 1-13. https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100650.

Arslan H. (2022). Sürdürülebilir Finansal Yaklaşımlar, (Editör) Aslan; *Y. Muhasebe, Finans ve Denetim alanlarında Kritik Yaklaşımlar* (ss.95-105) içinde. İstanbul. Efe Akademi Yayınları.

Aslan Y. (2021). Yeşil Finansman ve Yeşil Finansmanın Muhasebeleştirilmesine Bir Öneri. (Editör) Aslan; Ö.F. ve Erden; B. *Güncel Finansal Yönetim Yaklaşımları 2* (ss.117-128) içinde. İstanbul, *EfeAkademi yayınları*.

Atamas, E., Bitarova, M., Belyaeva, E. ve Panaseykina, V. (2020). Green Financing for National Sustainable Development. In: 5th International Conference on Economics, Management, Law and Education (EMLE 2019): 150–156. *Atlantis Press.* https://www.atlantis-press.com/proceedings/emle-19/125931413

Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., ve Wurgler, J. (2021). Financing the Response to Climate Change: The Pricing and Ownership of U.S. Green Bonds. *NBER Working Paper* No. 28843.

Baltais,M., Sondore, E., Putniņš, T. J. ve Karlsen, J.R. (2024). Economic impact potential of real-world asset tokenization. *UTS Business School, University of Technology Sydney, Report.*

Banga, J. (2019). The Green Bond Market: A Potential Source Of Climate Finance For Developing Countries. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 9(1), 17-32.

Bank of America Merrill Lynch and Citi, (2013). Framework for Green Bonds. https://www.globalcapital.com/securitization/article/28mukrfpbre4f7zwx3y0w/derivatives/framework-for-green-bonds

Bank of England. (2021). Climate-related financial risk management and the role of capital requirements. Prudential Regulation Authority Discussion Paper DP3/21. https://www.bankofengland.co.uk/prudential-regulation/publication/2021/october/climate-change-adaptation-report-2021

Baştürk, M. F. (2024). Yeşil tahviller ve yenilenebilir enerji üretimi ilişkisi: AB örneği. *Verimlilik Dergisi*, 58(3), 325-336.

Battiston, S., Mandel, A., Monasterolo, I., Schütze, F. ve Visentin, G. (2017). A climate stress-test of the financial system. *Nature Climate Change*, 7, 283–288.

Baysan, Y. (2019). *Yeşil Tahviller ve İklim Finansmanı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

BCG Report, (2022). Relevance of On-chain Asset Tokenization in 'Crypto Winter'. https://www.bcg.com/publications/2022/relevance-of-on-chain-asset-tokenization

BDDK (2021). Yeşil Dönüşümün Finansmanı: Fırsatlar ve Zorluklar https://www.bddk.org.tr/KurumHakkinda/EkGetir/18?ekId=365

BIS (Bank for International Settlements). (2024). Quarterly Review: Sustainable Finance Metrics.

Biju, A. V. N., Alora, A., Sasidharan, A. ve Kallany, A. (2024). Investigating the factors determining green bond issuance in emerging markets: Emphasizing the direct and moderating role of board characteristics and ESG performance. *Corporate Ownership & Control*, Vol: 21 no: 4, s.60–74. https://doi.org/10.22495/cocv21i4art6

Birleşmiş Milletler (1992). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. Birleşmiş Milletler, http://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/webmenu/webmenu12421_1.pdf s. 5.

Bitcoin.com. https://www.bitcoin.com/get-started/what-are-real-world-assets-rwa

BlackRock. (2024). iShares Global Green Bond ETF (BGRN) – Performance data. https://www.ishares.com adresinden alınmıştır.

CAIAA (2016). Chartered Alternative Investment Analyst Association, Alternative Investment Analyst Review, An Introduction to Green Bonds https://www.caia.org/sites/default/files/AIAR_Q2_2016_02_GreenBonds.pdf

Canikli, S. (2022). Sürdürülebilir finans mekanizmaları, araçları ve sürdürülebilir kalkınma ilişkisi. *Akdeniz Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 26-39.

Chang, L., Taghizadeh-Hesary, F., Chen, H. ve Mohsin M. (2022). Do Green Bonds Have Environmental Benefits?. *Energy Economics*, 115, 106356: 1-12.

ChinaBond. https://yield.chinabond.com.cn?

Climate Bonds Initiative (2020). China Green Bond Market 2019 Research Report. https://www.climatebonds.net/data-insights/publications/china-green-bond-market-2019-research-report

Climate Bonds Initiative. (2024). Global State of the Market 2024. https://www.climatebonds.net/data-insights/publications/global-state-market-2024

Coingecko. (2025). Tarihsel PAX Gold USD Verileri. https://www.coingecko.com/en/coins/pax-gold/historical_data

Coingecko. (2025). Tarihsel Tether Gold USD Verileri. https://www.coingecko.com/en/coins/tether-gold/historical_data

Coinmarketcap. https://coinmarketcap.com/academy/tr/glossary/address https://coinmarketcap.com/academy/tr/glossary/fiat

Cointlegraph Türkiye, RWA (gerçek dünya varlıkları) nedir, ne işe yarar? (2024). https://tr.cointelegraph.com/learn/articles/tokenized-real-world-assets-rwa-in-defi

Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415(6867), 23. https://doi.org/10.1038/415023a

Crypto Council For Innovation, (2024) Explainer: What's the difference between Coins and Tokens? https://cryptoforinnovation.org/how-do-coins-and-tokens-shape-the-crypto-ecosystem

Çanakçıoğlu, M. (2023). Sürdürülebilir ekonomik kalkınma çerçevesinde yeşil büyüme ve yeşil finans. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(4), 537-554.

Debrah, C., Darko, A. ve Chan, A.P.C. (2022). A Bibliometric-Qualitative Literature Review of Green Finance Gap and Future Research Directions, Climate and Development: 1-24. https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2095331

Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 1972. https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972

Defillama. https://defillama.com

Deloitte, (2020). Security Token Offerings The Next Phase Of Financial Market Evolution.

Dina, A. ve Zhanna, K. (2024) : Global shocks and green bonds issuance: An empirical evidence from firm-level panel data, ADBI Working Paper, No. 1447. *Asian Development Bank Institute (ADBI)* https://doi.org/10.56506/EWVX8548

Dina, A., Zhanna, K. ve Mishra R. (2022). Oil price shocks and green bonds: An empirical evidence. *Energy Economics*, Vol.112, 2022, s.1-12

Duchenne, J.(2018). Blockchain and Smart Contracts: Complementing Climate Finance, Legislative Frameworks, and Renewable Energy Projects. *Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains*, 303-317.

Dural, F. (2020). Yenilikçi Finansman Yöntemi Olarak Yeşil Tahviller: Küresel Yeşil Tahvil Piyasası. *Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitim Bilimleri Sempozyumu Tam Metin Kitabı.*

Edemen, M., Engin, V., Boynukara, E., Narin, E., Yalçın, M., Küçükilhan, H., Kuş, H., Tutar, M. Ve Kavlak, A. (2023). Küresel Isınma, Küresel Isınmanın Nedenleri ve Sonuçları, Dünya ve Türkiye Üzerine Olası Etkileri. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR),* 10(91), 37–48. https://doi.org/10.26450/jshsr.3472

Elad B. ve Kinder K. (2025). Asset Tokenization Statistics 2025: Real Numbers Powering Tomorrow's Finance. *Coinlaw.* https://coinlaw.io/asset-tokenization-statistics

Ethereum.org. https://ethereum.org/tr/what-is-ethereum

EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance. (2018). Final Report. https://finance.ec.europa.eu/system/files/2018-01/180131-sustainable-finance-final-report_en.pdf

European Commission. (2021). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on European green bonds (COM/2021/391 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0391

Eyraud, L., Clements, B., ve Wane, A. (2013). Green Investment: Trends and Determinants. *Energy Policy*, 60, 852-865.

Fang, Z., Yang, C. ve Song, X. (2022). How Do Green Finance and Energy Efficiency Mitigate Carbon Emissions Without Reducing Economic Growth in G7 Countries?. *Frontiers in Psychology*, 3, 879741: 1-11.

Federal Reserve. (2019). Green Bonds and the Pricing of Climate Risk (FEDS Working Paper No. 2019-073). *Board of Governors of the Federal Reserve System.*

G20 Green Finance Synthesis Report. (2016). G20 Green Finance Study Group. http://www.g20.utoronto.ca/2016/green-finance-synthesis.pdf

García, C.J., Herrero, B., Miralles-Quirós J.L. ve Mirallles-Quirós, M. (2023). Exploring the determinants of corporate green bond issuance and its environmental implication: The role of corporate board. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 189, s.1-12. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122379

Ge, P., Yue, W., Tang, C. ve Zhu, R. (2024). How does the issuance of green bonds impact stock price crash risk: An analysis utilizing the NCSKEW and DUVOL. *Journal of Environmental Management*, Vol: 367(1).

Gitman, L. J., Juchau, R. Ve Flanagan, J. (2015). Principles of Managerial Finance, Avustralya: *Pearson Higher Education AU.*

Goghie, A.S. (2024). Tokenization and the banking system: Redefining authority in the blockchain era. *Competition ve Change*, 28(5), 663-682. https://doi.org/10.1177/10245294241258255

Guesmi, K., Makrychoriti, P. ve Pyrgiotakis, E. G. (2025). Climate change exposure and green bonds issuance. *Journal of International Money and Finance,* Vol.152, No:103281, s. 1-15.

Gündoğan A.C. ve Bitlis M. (2018). Dönüşen Dünyada Fırsatları Yakalamak: Sürdürülebilir Finans Görünümü. ESCARUS, İstanbul, Türkiye

Güneş, H. (2023). Yeşil tahvil ve ülke tahvilleri arasındaki nedensellik. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 25(45), 1244-1263.

H. Gunawan., Lukita, C., Angreni, T., Hartawan, M.S., Unarya, L., Maulana, S. ve Wahid, W.N. (2025). Blockchain-Enabled Tokenization for Transparent and Inclusive Financing of Sustainable Infrastructure Projects. *4th International Conference on Creative Communication and Innovative Technology (ICCIT).* s. 1-5.

Hacıömeroğlu, H. A., Danışoğlu, S. ve Güner, Z. N. (2022). For the Love of The Environment: An Analysis of Green Versus Brown Bonds During the COVID-19 Pandemic. *Finance Research Letters*, 47(A), 102576, 1544-6123. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102576.

HSBC/Sustainable Digital Finance Alliance (SDFA), (2019). Blockchain, Gateway for Sustainable Linked Bonds https://www.researchgate.net/profile/Sofie-Blakstad/publication/352539267_BLOCKCHAIN_Gateway_for_sustainability_linked_bonds/links/60cdce6e299bf1cd71de633e/BLOCKCHAIN-Gateway-for-sustainability-linked-bonds.pdf

Huang, S. Z. (2022). Do Green Financing and Industrial Structure Matter for Green Economic Recovery?. *Fresh Empirical Insights from Vietnam, Economic Analysis and Policy*, 75: 61- 73. https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.04.010

Ibrić, M., Kozarević, E. ve Mešković, A. (2024). The rise of green bonds: global context and European insights. *Journal of Economics, Law and Society*,1(1), 55-71.

ICMA, (2021). Yeşil Tahvil İlkeleri, The Green Bond Principles Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds Turkish Version https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2021/Turkish-GBP-2021.pdf?vid=2

ICMA, (2023). Green Bond Principles: Voluntary process guidelines for issuing green bonds. ICMA. https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/green-bond-principles-gbp/

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C pathway. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable capacity highlights 2024. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/Publications

International Trade Center, (2019), What is Green Finance. www.intracen.org/

Investing. https://tr.investing.com/analysis/blok-zinciri-teknolojisinin-detayl-ncelenmesi-gercek-hayatta-kullanm-alanlar-200493959

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Jun, M., Kaminker, C., Kidney, S. ve Pfaff, N. (2016). Green Bonds: Country Experiences, Barriers And Options, *G20 Green Finance Study Group Report*, https://www.cbd.int/financial/greenbonds/oecd-greenbondscountries2016.pdf

Kandır, S. Y. ve Yakar, S. (2017). Yeşil Tahvil Piyasaları: Türkiye'de Yeşil Tahvil Piyasasının Geliştirilebilmesi için Öneriler. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26/2, 159-175.

Kartal, M.T., Pata, U.K.. ve Alola, A.A. (2025). Impact of Green Bonds on CO2 emissions and disaggregated level renewable electricity in China and the United States of America. *Humanities and Social Sciences Communications,* Vol.12, No: 350, s.1-18.

Ketterer, J.A., Andrade, G.,Netto, M. ve Haro, M.I. (2019). Transforming Green Bond Markets: Using Financial Innovation and Technology to Expand Green Bond Issuance in Latin America. https://greenfinancelac.org/wp-

content/uploads/2019/09/Transforming_Green_Bond_Markets_Using_Financial_Innovation_and_Technology_to_Expand_Green_Bond_Issuance_in_Latin_America_and_the_Caribbean_en.pdf

Kılınç, Y. (2020). Blockchaın Teknolojisi: Muhasebe ve Denetim Mesleği Açısından Bir İnceleme. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*. 13 (3), 989-1011.

Kılınç, Y. C. (2024). *Türkiye'de yeşil tahvil ihracına yatırımcı tepkisi: bir olay çalışması.* Yüksek Lisans Tezi: Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Muhasebe ve Finansman Anabilim Dalı, Kırıkkale.

Kırbaş, İ. (2018). Blokzinciri Teknolojisi ve Yakın Gelecekti Uygulama Alanları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9(1): 75-82.

King, S., ve Nadal, S. (2012). PPCoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. https://decred.org/research/king2012.pdf

Kuloğlu, E. ve Öncel, M. (2015). Yeşil Finans Uygulaması ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2): 2-19.

Kumar, S. (2023). From Distress to DEFI: Pioneering the Tokenization of Distressed Bonds. https://engrxiv.org/preprint/view/3256

Langhelle, A.H. (2016). *Green Bonds – a change in preferences toward green investments?*. Yüksek Lisans Tezi, University of Oslo.

Larsen, M. L. (2023,). Introduction to Green Finance. https://iigf-china.com/green-finance-info-2

Lee, C.C., Wang, F., Lou, R. ve Wang, K. (2023). How Does Green Finance Drive the Decarbonization of The Economy? Empirical Evidence from China. *Renewable Energy,* 204: 671-684. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.058.

Lee, C. C., Lee C.C ve Li, Y. Y. (2021). Oil Price Shocks, Geopolitical Risks, and Green Bond Market Dynamics. *The North American Journal of Economics and Finance*, 55, 1-15.

Li, M., Hamawandy, N. M., Wahid F., Rjoub, H. ve Bao, Z., (2021). Renewable Energy Resources Investment and Green Finance: Evidence from China. *Journal of Resources Policy,* https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102402.

Lindenberg, N. (2014). Definition of Green Finance, DIE Mimeo. https://ssrn.com/abstract=2446496

Liu, A. ve Chen, C. (2025). From real estate financialization to decentralization: A comparative review of REITs and blockchain-based tokenization. *Geoforum*, Volume 159.

Madaleno, M., Doğan, E. ve Taşkın, D. A. (2022). Step Forward on Sustainability: The Nexus of Environmental Responsibility, Green Technology, Clean Energy and Green Finance. *Energy Economics*, 109: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105945.

Mensi, W., Rehman, M. U. Ve Vo, X. V. (2022). Impacts of COVID-19 Outbreak, Macroeconomic and Financial Stress Factors on Price Spillovers Among Green Bond. *International Review of Financial Analysis,* 81, 102125, 1057 5219. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102125.

Merkle, R. C. (1987). A digital signature based on a conventional encryption function. In G. Brassard (Ed.), Advances in Cryptology — CRYPTO '87. *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 293, pp. 369–378). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-48184-2_32

Millennium Summit, 6-8 September 2000, New York https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2000

Mingxiao, D., Xiaofeng, M., Zhe, Z., Xiangwei, W., ve Qijun, C. (2017). A review on consensus algorithm of blockchain. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (ss. 2567–2572).

Mirgen, Ç. ve Tepeli, Y. (2024). Türkiye'de yeşil tahvil ihraçlarının değerlendirilmesi: 2016-2024. *ICSAS 1st Internatıonal Conference On BM*, July 26 – 28, s. 66-78.

Mngumi, F., Shaorong, S., Shair, F. ve Waqas, M. (2022). Does Green Finance Mitigate the Effects of Climate Variability: Role of Renewable Energy Investment and Infrastructure. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 59287–59299. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19839-y.

MSCI (2022). China Green Bond Market Growing Issuance and Historical Outperformance. https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/china-green-bond-market-growing-issuance-and-historical-outperformance

MSCI ACWI Select Energy Producers IMI (annual performance, Fact Sheet 2024) https://www.msci.com/documents/10199/445b7045-1773-46dd-8a7a-1185aca91caf

MSCI Global Alternative Energy IMI, Annual Performance Data (Fact Sheet, 2024). https://www.msci.com/documents/10199/40bd4fec-eaf0-4a1b-bfc3-8ed5c154fe3c

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., ve Goldfeder, S. (2016). Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction. *Princeton University Press.*

NASA Goddard Institute for Space Studies. (2024). GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4) [Dataset]. NASA. https://data.giss.nasa.gov/gistemp/

National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA), (2023). Global Monitoring Laboratory: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/

Nawaz, M.A., Seshadri, U., Kumar, P., Aqdas, R., Patwary, A.K. ve Riaz, M. (2021). Nexus Between Green Finance and Climate Change Mitigation in N-11 and BRICS Countries: Empirical Estimation Through Difference in Differences (DID) Approach, *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 6504–6519. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10920-y.

Network for Greening the Financial System. (2019). A call for action: Climate change as a source of financial risk. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_first_comprehensive_report_-_17042019_0.pdf

NGFS. (2022). Climate Scenarios for central banks and supervisors. www.ngfs.net/en/publications-and-statistics/publications/ngfs-climate-scenarios-central-banks-and-supervisors

OECD, (2015), Green Bonds Mobilising the Debt Capital Markets for a Low Carbon Transition, OECD Report https://www.bolsacr.com/sites/default/files/ServiciosTecnicos/green_bonds_oecd.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), (2022). Green, Social, Sustainability and Sustainability-Linked Bonds in Developing Countries. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/22d93a4d-en

Özcan, M. ve Durmuşoğlu, S. M. (2022). Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Finansmanında Yeşil Tahvillerin Kullanımı. *Mühendis ve Makine*, 63/707, 279-313. https://doi.org/10.46399/muhendismakina.936861

Özkan, A. U. (2024). Yeşil tahvil alanında yayınlanmış makaleler üzerine bibliyometrik bir analiz. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi,* 6(1), 176-189.

Özyeşil, Mustafa. ve Tembelo, Havane. (2025). The Role of Green Bonds in Financing Sustainable Energy Projects: Trends and Prospect. *International Journal of Energy Economics and Policy,* Vol.15, no:2, 2025, s. 370-379.

People's Bank of China (PBoC). Bond Market Statistics and Monetary Policy Reports (2020–2024).

Pham, L. ve Nguyen, G. (2022). How do stock, oil, and economic policy uncertainty influence the green bond market? *Finance Research Letters* 45 (2022) 102128.

Piva, Ellis., (2017). *The Added Value of Green Bonds*. Yüksek Lisans Tezi, Lund University School of Economics and Management.

Prag, K. ve Andersson, S. (2015). Green Bonds: Doing well by doing good. Yüksek Lisans Tezi, Lund University School of Economics and Management).

Preclaw R. ve Bakshi A. (2015). Barclays, The Cost of Being Green, https://www.environmental-finance.com/content/research/the-cost-of-being-green.html

PricewaterhouseCoopers: "6th ICO/STO Report, A Strategic Perspective", 2020. https://www.pwc.com/ee/et/publications/pub/Strategy&_ICO_STO_Study_Version_Spring_2020.pdf

PricewaterhouseCoopers: "Considering An IPO? First Understand The Costs", 2021. https://www.pwc.com/us/en/services/consulting/deals/library/cost-of-an-ipo.html

Rannou, Y., Boutabba, M. A. ve Barneto, P. (2021). Are Green Bond and Carbon Markets in Europe Complements or Substitutes? Insights From the Activity of Power Firms. *Journal of Energy Economics,* 104, 105651. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105651.

Real-World Assets in Onchain Finance Report, (2025) Redstone https://blog.redstone.finance/2025/06/26/real-world-assets-in-onchain-finance-report)

Reboredo, J. C. (2018). Green Bond and Financial Markets: Co-Movement, Diversification and Price Spillover Effects. *Energy Economics,* Cilt 74, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.030

Refinitiv. (2024). Fixed Income Liquidity Report.

Ren, X., Shao, Q. ve Zhong, R. (2020). Nexus Between Green Finance, Non-Fossil Energy Use, and Carbon Intensity: Empirical Evidence from China Based on A Vector Error Correction Model. *Journal of Cleaner Production*, 277:1-12. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122844.

Ronalda, R. ve Suryanto, T. (2022). Green Finance and Sustainability Development Goals in Indonesian Fund Village. *Reso urces Policy*, 78, 102839: 1-11.

Ruangchan T., Tanpat K., Pongsakorn L., Yarnaphat S., Kris J. ve Supin C. (2023). Financial Technology Environment for Tokenization Investment in a Developing Economy. *Asian Journal of Business Environment* 13-3, 29-36

RWA Report 2025: When Crypto Gets Real, 2025, Coingecko https://www.coingecko.com/research/publications/rwa-report-2025

Rwa.xyz. https://app.rwa.xyz

Sangiorgi, I. ve Schopohl, L. (2023). Explaining green bond issuance using survey evidence: Beyond the greenium. *The British Accounting Review*, Vol. 55, No:1, s.1-27.

Schoenmaker, D. (2017). Investing for the common good: A sustainable finance framework. *Brussels: Bruegel*, 80.

Silva, R., Marques, R.P. ve Inácio, H. (2024). A design for tokenization in governmental investment. *International Journal of Accounting and Information Management*, Vol. 32 No. 1 s. 19–39, doi: https://doi.org/10.1108/IJAIM-03-2023-0070

Singapore Exchange (SGX) Green Bond Indices Section: https://www.sgx.com/indices/products/cdcgbi

Songran Li, S. ve Shao, Q. (2022). Greening The Finance for Climate Mitigation: An ARDL–ECM Approach. *Renewable Energy*, 199: 1469-1481. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.071

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., ve Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785

Suresh R., Kumar S., Liu D., Kronfellner B., ve Kaul A. (2022). Relevance of On-chain Asset Tokenization in 'Crypto Winter'. Boston Consulting Group

Sustainable Development Goals, 2015, Stokholm+50 – 2022 https://www.undp.org/sustainable-development-goals

Swiss Re Institute. (2023). Natural catastrophes and man-made disasters in 2023. https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2024-01.html

Şimşek, O. ve Tunalı, H. (2022). Yeşil finansman uygulamalarının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki rolü: Türkiye projeksiyonu. *Ekonomi ve Finansal Araştırmalar Dergisi,* 4(1), 16-45.

Tang, D. Y. ve Zhang, Y. (2020). Do shareholders benefit from green bonds?. *Journal of Corporate Finance*, 61, 101427.

Tanveer, U., Ishaq, S. ve Hoang, T.G. (2025). Tokenized assets in a decentralized economy: Balancing efficiency, value, and risks. *International Journal of Production Economics,* Vol: 282. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109554

Tapscott, D. ve Tapscott, A. (2016). Blockchain revolution: How the technology behind Bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world. *Penguin Random House.*

Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD). (2017). Final report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. *Financial Stability Board.* https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report

The World Comission on Environment and Development-WCED, 1987 https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html

Tian, Y. Adriaens, P. Minchin, R. E. Chang, C. Zheng, L. Ve Chaoying, Q. (2021). Asset Tokenization: A blockchain Solution to Financing Infrastructure in Emerging Markets and Developing Economies. *ADB-IGF Special Working Paper Series "Fintech to Enable Development, Investment, Financial Inclusion, and Sustainability"*

Tian, Y. Zheng L., Adriaens, P., Minchin, R., Caithness, A. ve Woo, J. (2020). Finance infrastructure through blockchain-based tokenization. *Frontiers of Engineering Management.* 7. 10.1007/s42524-020-0140-2.

Tian, Y., Wang, C., Asutosh, A., Woo, J., ve Adriaens, P. (2022). Blockchain-enabled tokenization for sustainable and inclusive infrastructure investment. https://arxiv.org/abs/2208.04709

Tolliver, C., Alexander Ryota Keeley, A.R. ve Managi, S. (2020). Drivers of Green Bond Market Growth: The Importance of Nationally Determined Contributions to The Paris Agreement and Implications for Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 244: 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118643.

Tradeweb Green Bond Q3 2025 Trading Highlights. (2025). Tradeweb https://www.tradeweb.com/4a9424/globalassets/who-we-are/esg/tradeweb_greenbond_statsheet_q325_final.pdf

Türkeş, M., (2001). Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205.

United Nations Conference on Environment and Development, (1992). Rio de Janeiro, Brazil, https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992

United Nations Conference on Sustainable Development, (2012), Rio de Janeiro https://www.un.org/en/conferences/environment/rio2012

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). The Paris Agreement [Treaty]. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Usta, A., Doğantekin, S. (2017). *Blockchain 101*. İstanbul: Kapital Medya Hizmetleri.

Versal, N. ve Sholoiko, A. (2022). Green bonds of supronational financial ınstitutions: on the road to sustainable development. *Investment Management And Financial Innovations Journal*, 19(1), 91-105.

Wang, K.H., Zhao, Y.X., Jiang, C.F. ve Li, Z.Z. (2022). Does Green Finance Inspire Sustainable Development? Evidence From a Global Perspective, Economic Analysis and Policy, 75: 412-426. https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.06.002.

Wang, M., Li, X. ve Wang, S. (2021). Discovering Research Trends and Opportunities of Green Finance And Energy Policy: A Data-Driven Scientometric Analysis. *Energy Policy*, 154. 112295.

Wang, X ve Wang, Q. (2021). Research on The Impact of Green Finance on The Upgrading of China's Regional Industrial Structure from The Perspective of Sustainable Development,Resources Policy, 74: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102436.

Wang, Y. ve Zhi, Q. (2016). The Role of Green Finance in Environmental Protection: Two Aspects of Market Mechanism and Policies. In Energy Procedia. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.053

Watson C., ODI., Schalatek L. ve Evéquoz A. (2023). The Global Climate Finance Architecture https://climatefundsupdate.org/wp-content/uploads/2024/04/CFF2-2024-ENG-Global-Architecture-DIGITAL.pdf

WCED, (1987). The World Commission on Environment and Development. Our Common Future. (The Brundtland Report) https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html

World Bank. (2024). Total greenhouse gas emissions (kt of CO_2 equivalent) [Dataset]. World Development Indicators. https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/EN.ATM.GHGT.KT.CE

World Summit on Sustainable Development, 26 August-4 September 2002, Johannesburg https://www.un.org/en/conferences/environment/johannesburg2002

Wu, J., Wullianallur, R. ve Raghupathi, V. (2025). An Exploratory Study of the Association Between Green Bond Features and ESG Performance. *Sustainability,* Vol.17, No:2094, s.1

Xu, X. ve Li, J. (2020). Asymmetric Impacts of The Policy and Development of Green Credit on The Debt Financing Cost and Maturity of Different Types of Enterprises in China. Journal of Cleaner Production, 264, 121574.

Yahoo Finance. (2025). Tarihsel Altın Verileri. https://finance.yahoo.com/quote/GC=F/history/?guccounter=1

Yu, C. H., Wu, X., Zhang, D., Chen, S. ve Zhao, J. (2021). Demand For Green Finance: Resolving Financing Constraints on Green Innovation in China. Energy Policy, 153(March), 112255.

Zadek S. ve Flynn C. (2013). South-Originating Green Finance: Exploring the Potential, The Geneva International Finance Dialogues.

Zhang, D., Zhang, Z. ve Managi, S. (2019). A Bibliometric Analysis on Green Finance: Current Status, Development, and Future Directions, Finance Research Letters, 29: 425-430. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.02.003.

Zhang, Y. ve Wei, W., (2020). Does blockchain technology promote the development of green finance, Evidence from China. *International Conference on Management Science and Industrial Economy*, 184-188.

Zheng, G.W., Siddik A.B., Masukujjaman, M. ve Fatema N. (2021). Factors Affecting the Sustainability Performance of Financial Institutions in Bangladesh: The Role of Green Finance, Sustainability,13(18): 1-27. https://doi.org/10.3390/su131810165.

Zhou, X., ve Cui, Y. (2019). Green bonds, corporate performance, and corporate social responsibility. *Sustainability*, 11(23), 6881, 29(January), 425–430.