

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SİYASET BİLİMİ VE KAMU YÖNETİMİ ANABİLİM DALI



İKİZ DÖNÜŞÜM SÜRECİ VE TÜRKİYE’NİN POLİTİKALARI
ÜZERİNE BİR ANALİZ

ŞAFAK NECMİ DENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SAMET ERDEM

SİNOP – 2025

TEZ KABUL

Şafak Necmi DENİZ tarafından hazırlanan “**İKİZ DÖNÜŞÜM SÜRECİ VE TÜRKİYE’NİN POLİTİKALARI ÜZERİNE BİR ANALİZ**” başlıklı bu çalışma, 08.07.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Doç. Dr. Candaş CAN Sinop Üniversitesi/Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

İmza

**Üye
(Danışman)**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Samet ERDEM Sinop Üniversitesi/Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Gönül DİNÇER Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi/İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hüseyin Turan ARAT

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şafak Necmi DENİZ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKİZ DÖNÜŞÜM SÜRECİ VE TÜRKİYE’NİN POLİTİKALARI ÜZERİNE BİR ANALİZ

ŞAFAK NECMİ DENİZ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SİYASET BİLİMİ VE KAMU YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SAMET ERDEM

İkiz dönüşüm, dijitalleşme ile yeşil dönüşümün eş zamanlı ve bütüncül olarak yürütüldüğü, modern ekonomilerin sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmasında belirleyici bir paradigma değişimini ifade etmektedir. Bu çalışma, Türkiye’nin ikiz dönüşüm stratejilerini kapsamlı biçimde analiz ederek dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerindeki ilerlemelerini, bu ilerlemelerin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerini ve karşılaşılan yapısal engelleri değerlendirmektedir. İlk bölümde, ikiz dönüşüm kavramının kuramsal çerçevesi çizilmiş; kavramın küresel ölçekteki evrimi, uluslararası politika belgeleri ve literatür taraması ışığında tartışılmıştır. İkinci bölümde, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği ve Çin’in dijital-yeşil entegrasyon stratejileri incelenmiş; bu modellerin Türkiye açısından aktarıma elverişli yönleri belirlenmiştir. Üçüncü bölümde ise Türkiye’nin ulusal dijitalleşme ve yeşil dönüşüm politikaları ayrıntılandırılmıştır: Dijital alanda e-Devlet uygulamaları, yapay zekâ stratejisi, kamu hizmetlerinde bulut bilişim ve veri hastaneleri; yeşil alanda yenilenebilir enerji yatırımları, enerji verimliliği programları, döngüsel ekonomi girişimleri ve sürdürülebilir şehircilik projeleri ele alınmıştır. Bulgular, Türkiye’nin ikiz dönüşümde önemli mesafe kat ettiğini, ancak düzenleyici öngörülebilirlik, nitelikli insan kaynağı açığı ve finansmana erişim konularında hâlen kritik zorluklarla karşılaştığını göstermektedir. Sonuç bölümünde, politika uyumu için bütüncül yönetim mekanizmalarının güçlendirilmesi, inovasyon ekosisteminin desteklenmesi ve yeşil finansman araçlarının yaygınlaştırılması yönünde stratejik öneriler sunulmuştur. Araştırma, Türkiye’nin ikiz dönüşüm stratejilerinin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada ve küresel rekabet gücünü artırmada kilit bir itici kuvvet olduğunu ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: İkiz Dönüşüm, Dijitalleşme, Yeşil Dönüşüm, Sürdürülebilir Kalkınma, Türkiye

2025, 181 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

AN ANALYSIS OF THE THE TWIN TRANSFORMATION PROCESS AND TURKEY'S POLICIES

ŞAFAK NECMİ DENİZ

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF POLITICAL SCIENCE AND PUBLIC ADMINISTRATION
SUPERVISOR:ASST. PROF. DR. MEHMET SAMET ERDEM**

The twin transformation represents a decisive paradigm shift in modern economies' pursuit of sustainable development goals, where digitalization and green transformation are implemented simultaneously and holistically. This study comprehensively analyzes Turkey's twin transformation strategies and assesses its progress in digital and green transformation processes, their impact on sustainable development, and the structural obstacles encountered. The first section outlines the theoretical framework of the twin transformation concept, and discusses its global evolution in light of international policy documents and a literature review. The second section examines the digital green integration strategies of the United States, the European Union, and China, identifying the transferability of these models to Turkey. The third section details Turkey's national digitalization and green transformation policies: e-Government applications, artificial intelligence strategy, cloud computing, and data hospitals in public services in the digital arena; renewable energy investments in green arenas, energy efficiency programs, circular economy initiatives, and sustainable urban planning projects. The findings indicate that Turkey has made significant progress in its twin transformations, but continues to face critical challenges related to regulatory predictability, a shortage of skilled human resources, and access to finance. The conclusion offers strategic recommendations for strengthening integrated governance mechanisms for policy alignment, supporting the innovation ecosystem, and expanding green financing instruments. The research demonstrates that Turkey's twin transformation strategies are a key driver for achieving sustainable development goals and enhancing global competitiveness.

KEYWORDS: Twin Transformation, Digitalization, Green Transformation, Sustainable Development, Turkey

2025, 181 Pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, uzun ve yoğun bir emek sürecinin ürünü olup, akademik hayatımın önemli bir dönüm noktasını oluşturmaktadır. Çalışmam boyunca değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, her aşamada desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Samet ERDEM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez sürecinde özellikle içerik ve şablon konusunda katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Candaş CAN hocama da destekleri ve yapıcı yönlendirmeleri için müteşekkirim.

Bu süreçte manevi destekleriyle daima yanımda olan, sabırları ve sevgileriyle bana güç veren tüm aile bireylerime de gönülden teşekkür ederim. Onların varlığı, bu sürecin en büyük motivasyon kaynaklarından biri olmuştur.

Ayrıca bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli katkılarıyla yanımda olan sevgili arkadaşım Sümeyya SAYILKAN'a da en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, alanına katkı sağlayacak nitelikte olması en büyük temennimdir.

Şafak Necmi DENİZ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ	1
BÖLÜM I.....	7
1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	7
1.1. Yeşil Dönüşüm	7
1.1.1. Yeşil Dönüşüm ve Küresel Gerekliliği	10
1.1.1.1. Kyoto Protokolü.....	13
1.1.1.2. Paris İklim Anlaşması.....	15
1.1.1.3. Horizon Uygulaması	17
1.1.2 Enerji Sektöründe Yeşil Dönüşüm	20
1.1.3 Ulaştırma Sektöründe Yeşil Dönüşüm	21
1.1.4 İmalat Sanayisinde Yeşil Dönüşüm.....	22
1.1.5 Konut ve Yapı Sektöründe Yeşil Dönüşüm.....	22
1.1.6 Tarım ve Gıda Sistemlerinde Yeşil Dönüşüm	23
1.1.7. Döngüsel Ekonomi	24
1.1.8. Yeşil Finansman	26
1.1.9. Karbon Düzenleme Mekanizması.....	30
1.3. Dijital Dönüşüm.....	37
1.3.1. Dijital Dönüşümün Tarihsel Gelişimi.....	39
1.3.2. Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0.....	41
1.3.3. Dijital Dönüşümün Önemi.....	43
1.3.4. Dijital Dönüşümün Etkileri.....	45
1.4. İkiz Dönüşüm.....	47

1.4.1. İkiz Dönüşümün Amacı ve Önemi	49
1.5. İkiz Dönüşüme Yönelik Eleştiriler	52
BÖLÜM II	61
2. İKİZ DÖNÜŞÜMÜN ULUSLARARASI ALANDAKİ UYGULAMALARI.....	61
2.1. Avrupa Birliği'nde İkiz Dönüşüm Stratejileri.....	62
2.2. Çin'in Dijital ve Çevreci Kalkınma Yaklaşımı	72
2.3. ABD'nin Teknolojik İnovasyon ve Çevre Politikaları	80
2.4. BM ve Sürdürülebilirlik Politikaları	87
BÖLÜM III.....	91
3. TÜRKİYE'DE İKİZ DÖNÜŞÜM	91
3.1. Türkiye'nin Yeşil dönüşüm Politikaları	91
3.1.1. Anayasa Bağlamında Çevre Politikaları	94
3.1.2. Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Programları	99
3.1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	103
3.1.3. Türkiye'nin Yeşil Dönüşüm Girişimleri	105
3.2. Sıfır Atık ve Sürdürülebilir Şehircilik İnisiyatifleri.....	108
3.2.1. Sıfır Atık Projesi	110
3.3. Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Yol Haritası.....	112
3.3.1. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi	113
3.3.2. Stratejik Hedefler	116
3.3.3. E-Devlet ve Kamu Hizmetlerinde Dijitalleşme	118
3.3.3.1. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi	118
3.3.3.2. TÜRKSAT	119
3.3.3.3. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	119
3.3.4. Teknofest	120
3.4. İklim Kanunu	122
3.4.1. Hukuki Dayanak ve Yasama Süreci	122
3.4.2. Kurumsal Yapılanma ve Yönetişim Mekanizmaları	126
3.4.3. Emisyon Ticaret Sistemi ve Karbon Fiyatlandırması	130
3.4.4. Uyum, Finansman ve Yaptırım Düzenlemeleri	139
3.5. Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri	142
3.5.1. Çözüm Önerileri	148

BÖLÜM IV	150
4. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER.....	150
4.1. Tartışma	150
4.2. Sonuç	153
4.3. Öneriler	157
KAYNAKÇA.....	159
ÖZGEÇMİŞ	168



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Küresel Veri Merkezleri Elektrik Tüketimi ve Yenilenebilir Payı (2015-2023).....	57
Tablo 1.2. Küresel E-Atık Hacmi ve Geri Kazanım Oranı (2015-2023).....	58
Tablo 1.3. Dijital Bölünme ve Yeşil Yatırım Yoğunluğu (2023)	58
Tablo 1.4. AB ve Türkiye’de Dijital İkiz Uygulamaları: Enerji Tasarrufu ve Karbon Yoğunluğu (Seçilmiş Sektörler, 2023)	59
Tablo 3.1. Türkiye’nin Sektörel Sera Gazı Emisyonları (2022)	136
Tablo 3.2. Türkiye MRV* Sistemi—Tesis Sayısı ve Doğrulanmış Emisyonlar.....	137
Tablo 3.3. AB ETS Karbon Fiyatı Eğilimi (2021-2024).....	137
Tablo 3.4. Türkiye ETS Tasarım Parametreleri vs. AB ETS (Seçilmiş Göstergeler).....	138

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Avrupa Birliği'nde İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Payı ve Dijitalleşme Endeksi (DESI).....	65
Şekil 2.2. Çin'de İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Kapasitesi ve Dijital Ekonominin GSYİH'deki Payı.....	74
Şekil 2.3. ABD'de İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Payı ve Dijital Ekonominin GSYİH'deki Payı.....	82



KISALTMALAR LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AB Alternatif Yakıt Altyapısı Tüzüğü)
AR6	Sixth Assessment Report (IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu)
BAU	Business as Usual (Mevcut Durum Senaryosu)
CBAM / SKDM	Carbon Border Adjustment Mechanism / Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması
CBDDO	Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi
CTCN	Climate Technology Centre and Network (BM İklim Teknoloji Merkezi ve Ağı)
EEA	European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EIB	European Investment Bank (Avrupa Yatırım Bankası)
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi
EU ETS	Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi
GCF	Green Climate Fund (Yeşil İklim Fonu)
GGEI	Global Green Economy Index (Küresel Yeşil Ekonomi Endeksi)
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HPC	High-Performance Computing (Yüksek Başarımlı Hesaplama)
ICAP	International Carbon Action Partnership
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
ILO	International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
IMF	International Monetary Fund (Uluslararası Para Fonu)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
ITU / ITU-D	International Telecommunication Union / Telekomünikasyon Birliği-Kalkınma Sektörü
LIFE	L'Instrument Financier pour l'Environnement (AB Çevre Programı)
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık)
MRV	Monitoring, Reporting & Verification (İzleme, Raporlama ve Doğrulama)
MSR	Market Stability Reserve (Piyasa İstikrar Rezevi)
NDC	Nationally Determined Contribution (Ulusal Katkı Beyanı)
NGEU	NextGenerationEU (AB Yeni Nesil AB Fonu)
NRPP	National Recovery and Resilience Plan (Ulusal İyileşme ve Direnç Planı)

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development – Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PPA	Power Purchase Agreement (Elektrik Satın Alma Anlaşması)
SDG / SKH	Sustainable Development Goal / Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi
TTC	Trade and Technology Council (AB-ABD Ticaret ve Teknoloji Konseyi)
TÜSİAD	Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
UN	United Nations (Birleşmiş Milletler)
UNDP	United Nations Development Programme (BM Kalkınma Programı)
UNEP	United Nations Environment Programme (BM Çevre Programı)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
UNICEF	United Nations Children’s Fund (BM Çocuklara Yardım Fonu)
UYZS	Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

GİRİŞ

İkiz dönüşüm kavramı, dijitalleşmenin hız kazandığı ve sanayi devrimlerinin yeni bir boyut kazandığı günümüzde, hem teknolojik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kavram, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm süreçlerinin bir arada ele alındığı ve entegre edildiği bir süreç olarak tanımlanır. İkiz dönüşüm, işletmelerin dijital teknolojileri kullanarak verimliliklerini artırmalarını sağlarken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de gözetmelerini zorunlu kılar. Dijital ikiz teknolojisi, bu sürecin merkezinde yer almakta olup, fiziksel dünyadaki varlıkların dijital yansımalarının oluşturulması ve bu yansımaların iş süreçlerinde kullanılmasını ifade etmektedir (Ünal & Toraman, 2023). Dijital ikizler, verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi süreçlerinde büyük avantajlar sağlayarak, işletmelerin çevresel ayak izlerini minimize etmelerine yardımcı olur (Türk, 2023).

Dünyadaki gelişimine bakıldığında, ikiz dönüşümün kökenleri, Endüstri 4.0 ile birlikte hız kazanan dijitalleşme süreçlerine dayanmaktadır. Gelişmiş ülkeler, bu süreçte dijital teknolojilerin yanı sıra sürdürülebilirlik ilkelerini de benimseyerek, hem ekonomik hem de çevresel performanslarını iyileştirme yoluna gitmişlerdir (Çalış Duman, 2022). Özellikle Avrupa Birliği, ikiz dönüşüm sürecini hızlandırmak amacıyla çeşitli politika ve stratejiler geliştirmiş, bu kapsamda dijital ve yeşil dönüşümün bir arada ele alınmasını teşvik etmiştir (Zencirli, 2024). Dijital ikiz teknolojisinin üretim süreçlerine entegrasyonu, bu dönüşümün kritik bir bileşeni olarak kabul edilmekte ve işletmelere hem maliyet avantajları hem de çevresel faydalar sağlamaktadır (Bengü & Fidancan, 2021). Sağlık, tarım, tedarik zinciri gibi farklı sektörlerde dijital ikizlerin yaygın olarak kullanılması, bu teknolojinin yalnızca sanayi ve üretim süreçlerinde değil, aynı zamanda geniş bir yelpazede uygulama alanı bulduğunu göstermektedir (Avşar, 2021).

Türkiye’de ise ikiz dönüşüm süreci, dünyadaki gelişmelerle paralel olarak ilerlemekte, ancak çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegrasyonu konusunda, Türkiye’nin mevcut sanayi yapısı ve dijital altyapısı bu süreci tam anlamıyla destekleyecek seviyede değildir. Bununla birlikte, Türkiye’nin ikiz dönüşüm sürecine yönelik artan ilgisi ve bu alandaki stratejik hedefleri, dijital ikiz teknolojisinin kullanımını ve sürdürülebilirlik uygulamalarını teşvik etmektedir (Göçen, 2020). Ülkemizde organize sanayi bölgelerinde dijital ikizlerin kullanımı, üretim süreçlerinin daha verimli ve çevre dostu hale getirilmesine

olanak tanırken, bu teknolojinin yaygınlaşması, Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artırma potansiyeli taşımaktadır (Zencirli, 2024).

Türkiye'deki bu gelişmelerin yanı sıra, dijital ikiz teknolojisinin işletme maliyetlerini düşürme ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama konusundaki katkıları, bu teknolojinin yaygınlaşmasını daha da hızlandırmaktadır. Türkiye'nin dijital ikiz teknolojisi kullanımındaki mevcut durumu, dijitalleşme sürecindeki zorluklara rağmen, büyük bir potansiyel sunmakta ve gelecekte bu alanda yapılacak çalışmaların önemini vurgulamaktadır (Alptekin & Türkmen, 2023).

Bu bağlamda, ikiz dönüşüm kavramı, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegrasyonu ile işletmelere ve ülkelere büyük fırsatlar sunmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, bu süreçte kritik bir rol oynayarak, hem maliyet avantajları hem de çevresel faydalar sağlamaktadır. Türkiye'de de bu teknolojinin benimsenmesi ve yaygınlaştırılması, ülkenin küresel rekabet gücünü artıracak önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Ünal & Toraman, 2023; Bengü & Fidancan, 2021).

Bu araştırmanın temel amacı, ikiz dönüşüm sürecinin Türkiye'deki mevcut durumu ve gelecekteki potansiyelini kapsamlı bir şekilde analiz etmektir. Araştırma, ikiz dönüşüm kavramının ne anlama geldiğini, bu kavramın dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçleriyle nasıl ilişkilendirildiğini, ve Türkiye'nin bu süreçteki yerini derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir. Araştırma, ikiz dönüşümün Türkiye ekonomisi ve sanayi yapısı üzerindeki etkilerini ortaya koymayı ve bu alandaki mevcut fırsatları ve zorlukları analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma, ikiz dönüşüm kavramının uluslararası alandaki gelişimini ve Türkiye'deki uygulanma sürecini kapsamaktadır. Araştırma, öncelikle ikiz dönüşümün kavramsal çerçevesini, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin bir arada nasıl yürütüldüğünü ele almaktadır. Uluslararası alanda Avrupa Birliği, Çin ve ABD gibi ülkelerin ikiz dönüşüm stratejileri incelenerek, Türkiye'nin bu süreçteki yerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki dijital ve yeşil dönüşüm politikaları, stratejileri ve bu süreçte karşılaşılan zorluklar araştırmanın kapsamını oluşturmaktadır.

Araştırmamızda ele alınan temel sorular şunlardır:

İkiz dönüşüm kavramı nedir ve Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında nasıl bir rol oynamaktadır?

Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde hangi stratejik hedefler belirlenmiştir?

Yeşil dönüşüm sürecinde Türkiye'nin karşılaştığı başlıca zorluklar nelerdir?

Dijital dönüşümde e-devlet uygulamaları Türkiye için ne gibi fırsatlar ve zorluklar sunmaktadır?

Türkiye'nin yapay zeka ve dijital teknoloji politikaları sürdürülebilir kalkınmayı nasıl desteklemektedir?

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ne düzeydedir ve bu süreçte ne tür zorluklar yaşanmaktadır?

Türkiye'nin enerji verimliliği programları sürdürülebilir şehircilik ve yeşil dönüşüme nasıl katkı sağlamaktadır?

Küresel aktörlerin (ABD, AB, Çin) ikiz dönüşüm stratejileri Türkiye için hangi dersleri içermektedir?

Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde karşılaştığı temel politik, sosyal ve ekonomik zorluklar nelerdir?

Bu zorlukları aşmak için hangi stratejik öneriler geliştirilebilir?

Bu araştırmada, beş ana hipotez üzerinde durulmaktadır:

Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde e-devlet ve yapay zeka stratejileri, kamu hizmetlerinde verimliliği artırarak sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamaktadır.

Yeşil dönüşümde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde karşılaştığı temel zorluklar arasında altyapı eksiklikleri ve dijital eşitsizlikler bulunmaktadır.

Yeşil dönüşüm sürecinde, enerji verimliliği ve sürdürülebilir şehircilik uygulamalarının yaygınlaştırılması, çevresel zorlukların üstesinden gelinmesine katkı sağlayacaktır.

Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorluklar, etkili stratejik planlama ve uluslararası işbirlikleri ile aşılmalıdır.

İkiz dönüşüm, günümüz dünyasında ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir kavram olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin bir arada ele alınması, ülkelerin ve işletmelerin rekabet gücünü artırırken, aynı zamanda çevresel etkilerin minimize edilmesini sağlamaktadır. Türkiye'nin bu sürece ne ölçüde adapte olabildiği, gelecekteki kalkınma ve sürdürülebilirlik hedefleri açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu araştırma, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecindeki

mevcut durumunu ve gelecekteki potansiyelini ortaya koyarak, politika yapıcılar ve işletmeler için yol gösterici olmayı hedeflemektedir.

İkiz dönüşüm sürecinin Türkiye'deki mevcut durumuna ilişkin literatürde yeterli sayıda çalışma bulunmamakta ve bu alandaki bilgi eksikliği, bu araştırmanın yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca, Türkiye'nin dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerine adapte olma kapasitesi, ekonomik büyüme ve sürdürülebilirlik açısından hayati öneme sahiptir. Bu araştırma, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecindeki mevcut durumu ve karşılaştığı zorlukları ortaya koyarak, bu süreçteki fırsatların ve tehditlerin anlaşılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

İkiz dönüşüm (twin transition) literatürü, dijital ve yeşil dönüşümlerin birbirini karşılıklı olarak beslediği “kazan-kazan” anlatılarından, iki sürecin kimi bağlamlarda çatışabileceğini öne süren daha eleştirel yaklaşımlara kadar uzanan geniş bir yelpazeye sahiptir. Kavramı ilk ağızda “sürdürülebilir büyüme için zorunlu bir paradigma değişimi” olarak çerçeveleyen çalışmalar, dijital teknolojilerin verimlilik artışı üzerinden karbon ayak izini düşürdüğünü savunsa da, son dönemde artan araştırmalar sinerji kadar gerilimin de varlığına dikkat çekmektedir.

Avrupa Yatırım Bankası'nın (EIB) İnovasyon Anketi verilerine dayanan raporlar, ileri dijital teknolojilere yatırım yapan firmaların aynı zamanda iklim odaklı yatırımlara da yöneldiğini ve böylece toplam yatırım verimsizliğinin azaldığını göstermektedir (European Investment Bank, 2023, s. 12; European Investment Bank, 2024, s. 8). Benzer şekilde OECD'nin otomotiv ekosistemi analizi, elektrifikasyon-odaklı yeşil inovasyonun ancak dijital tasarım, sensör ve veri analitiği altyapılarıyla ölçeklenebilir hâle geldiğini vurgular (OECD, 2023, s. 38). UNCTAD'ın Küresel Değer Zincirleri incelemesi de geç-sanayileşen ekonomilerin yeşil standartlara uyum için ‘dijital atılım’ yapmalarının zorunluluğunu ortaya koyar (UNCTAD, 2023, s. 9). Öte yandan aynı raporlar dijital yatırımların bölgesel ve sektörel eşitsizlikleri büyütebileceğine işaret eder. EIB verisi, COVID-19 sonrasında halihazırda dijital öncüler olan firmaların yatırım temposunu yükseltirken, geride kalanların daha da geride kaldığını göstermiştir (Veugelers vd., 2023, s. 57). UNCTAD raporu ise gelişmekte olan ekonomilerin “ikiz standart” baskısıyla karşı karşıya kalarak karbon yoğun sektörlerde rekabet avantajı kaybetme riski taşıdığını belirtir (UNCTAD, 2023, s. 11). Eleştirel yaklaşımlar, özellikle AB politika söyleminde “ikiz dönüşüm” retoriğinin dijital teknolojilerin kendi

çevresel maliyetlerini gölgeleme tehlikesine dikkat çeker (Yáñez Serrano vd., 2024, s. 4).

Mikro düzeyde dijital ikiz (digital twin) teknolojisi, ikiz dönüşüm tartışmasının uygulamadaki en kritik bileşeni olarak konumlanmıştır. Sağlık yönetimi bağlamındaki derleme çalışması, dijital ikizlerin gerçek-zamanlı veri akışı sayesinde süreç optimizasyonu ve kaynak tasarrufu sağladığını göstermektedir (Ünal & Toraman, 2023, s. 2). Sürdürülebilir tedarik zincirlerine yönelik sistematik derleme ise, dijital ikizlerin görünürlük, simülasyon ve rota optimizasyonu üzerinden lojistik emisyonlarını azaltabildiğini ortaya koyar (Timperi vd., 2024, s. 35). Bununla birlikte kapsamlı enerji-maliyet analizleri, dijital ikizlerin bulut-tabanlı işlem hacminin yenilenebilir enerjiyle beslenmediği durumlarda net-pozitif karbon etkisine dönüşebileceğini ileri sürmektedir (OECD, 2023, s. 40).

Türkiye özelinde literatür, ikiz dönüşümün fırsat-risk dengesini altyapı ve yönetim eksenlerinde tartışmaktadır. İstanbul Kalkınma Ajansı rehberi, On İkinci Kalkınma Planı'nda "Yeşil ve Dijital Dönüşümle Rekabetçi Üretim" ekseninin altını çizerek özellikle firmalar için ölçeklenebilir finansman ve kapasite geliştirme programlarına ihtiyaç olduğunu belirtir (İSTKA, 2024, s. 4). Dumlupınar Üniversitesi çalışması ise Türkiye'nin Küresel Yeşil Ekonomi Endeksi'nde (GGEI) son sıralarda yer almasının, dijital altyapıdaki eşitsizliklerle birleştiğinde yeşil dönüşüm yatırımlarını yavaşlattığını ortaya koymaktadır (Yurgiden & Erdoğan, 2024, s. 2).

Organize sanayi bölgelerine yönelik saha araştırmaları, dijital ikiz kullanımının üretimde hata payını %12'ye kadar düşürdüğünü; ancak yüksek sermaye maliyeti ve nitelikli iş gücü eksikliğinin yaygınlaşmayı sınırladığını vurgular (Kaya vd., 2025, s. 5). Politika söylemi düzeyinde dijital-yeşil entegrasyonun "mutlak bir sinerji" olarak sunulması da tartışmalıdır. Eleştirel politika analizi, AB'nin toparlanma fonlarının dağıtımında "ikiz dönüşüm" etiketinin hegemonik bir meşrulaştırma aracı hâline geldiğini, toplumsal maliyetlerin ise yeterince görünür kılınmadığını savunur (Yáñez Serrano vd., 2024, s. 6). Bu akım, dijital altyapının enerji talebi ve elektronik atık sorununu çözüme kavuşturmadan yeşil hedeflerle uyumlu olamayacağına işaret eder. Bu geniş literatür, Türkiye'de ikiz dönüşümün hem zorunlu hem de çok katmanlı olduğunu göstermektedir. Dijital eşitsizlikler, yeşil finansman kısıtları ve kurumsal kapasite boşlukları aşılmadıkça ikiz dönüşümün vaat ettiği rekabet avantajı tam anlamıyla gerçekleştirilemeyecektir.

Araştırmanın içeriği, ikiz dönüşüm kavramının tanımı ile başlamaktadır. İlk bölümde, ikiz dönüşümün kavramsal çerçevesi, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçleri detaylandırılmaktadır. İkinci bölümde, ikiz dönüşümün uluslararası alandaki gelişimi, Avrupa Birliği, Çin ve ABD gibi ülkelerin stratejileri üzerinden ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde ise Türkiye'deki ikiz dönüşüm süreci, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm politikaları çerçevesinde incelenmekte, bu süreçte karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri tartışılmaktadır. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulguların genel bir değerlendirmesi yapılarak, Türkiye için stratejik öneriler sunulmaktadır.



BÖLÜM I

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. Yeşil Dönüşüm

Yeşil dönüşüm, modern çağın en kritik meselelerinden biri olarak karşımıza çıkmakta ve çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik büyümenin bir arada gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan sistematik değişimleri ifade etmektedir. Bu kavram, özellikle iklim değişikliği ve doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi küresel sorunların çözümünde kilit bir rol oynar. Yeşil dönüşümün temel amacı, çevresel zararları minimize etmek, kaynakları daha verimli kullanmak ve uzun vadede sürdürülebilir bir yaşam biçimi oluşturmaktır. Bu süreç, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla kapsamlı bir dönüşümü içermektedir (Doğan, 2022, s. 51).

Yeşil teknoloji, yeşil dönüşümün en önemli araçlarından biridir. Temiz teknoloji olarak da adlandırılan yeşil teknoloji, çevresel sorunların çözümüne yönelik yenilikçi yaklaşımları içermektedir. Bu teknoloji, daha temiz üretim süreçlerinden enerji tasarrufu ve atık azaltma yöntemlerine kadar geniş bir yelpazede uygulanabilmektedir. Özellikle enerji verimliliği teknolojileri ve yeşil ulaşım sistemleri, yeşil teknolojinin somut örnekleri arasında yer alır. Bu teknolojiler, hem çevreye duyarlı hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir çözümler sunarak, yeşil dönüşümün hızlanmasına katkıda bulunur (Türk, 2024, s. 36).

Yeşil dönüşüm süreci, sadece teknolojik yeniliklerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik ve sosyal yapıları da yeniden şekillendirir. Bu bağlamda, yeşil ekonomi kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil ekonomi, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını, ekonomik büyümenin çevresel etkilerini minimize edecek şekilde yeniden tasarlanmasını ve sosyal refahın artırılmasını hedefler. Yeşil büyüme, bu bağlamda ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki dengeyi koruyan bir strateji olarak öne çıkar (Doğan, 2022, s. 65). Bu strateji, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak, karbon emisyonlarını azaltmayı ve enerji bağımsızlığını sağlamayı amaçlar (Alizada, 2022, s. 7).

Yeşil dönüşümün bir diğer önemli boyutu ise yeşil finansman araçlarıdır. Yeşil tahvil ve yeşil sukuk gibi finansal araçlar, çevresel projelerin finansmanında kritik rol oynar. Bu

araçlar, iklim değışikliğı projeleri, yenilenebilir enerji yatırımları ve sürdürülebilir kalkınma projeleri için fon sağlamaktadır. Yeşil tahviller, özellikle gelişmekte olan ülkelerde çevresel sürdürülebilirliği teşvik ederken, ekonomik büyümeye de katkıda bulunur (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 348). Ayrıca, yeşil sukuk, İslami finansal ilkelerle uyumlu olarak çevresel projelerin finansmanında kullanılır ve bu alanda yenilikçi bir çözüm sağlamaktadır.

Yeşil dönüşüm, sadece ekonomik ve teknolojik bir süreç olmaktan öte, aynı zamanda sosyal bir dönüşümü de gerektirir. Bu dönüşüm, yeşil işler ve yeşil istihdam kavramlarını da beraberinde getirir. Yeşil işler, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ekonomik faaliyetler olarak tanımlanır. Bu işler, hem istihdam yaratma potansiyeli taşıır hem de çevresel etkileri minimize etmektedir. BM Çevre Programı tarafından desteklenen yeşil istihdam, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, çevreye duyarlı iş alanlarının genişletilmesini ve bu alanlarda çalışanların sayısının artırılmasını hedefler (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s. 26). Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik, küresel ekonomilerin ve toplumların en önemli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir. İklim değışikliğı, biyolojik çeşitliliğin azalması, kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliğı gibi küresel çevre sorunları, sadece ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal sistemleri de tehdit etmektedir. Bu tehditler karşısında, yeşil dönüşüm kavramı, kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması yönünde stratejik bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır (Yardımlı, 2021, s. 391). Yeşil dönüşüm, çeşitli sektörlerde uygulanan yeşil teknolojiler, çevreci ürünler ve sürdürülebilir uygulamalarla, mevcut sistemlerin çevreye duyarlı bir şekilde yeniden yapılandırılmasını ifade etmektedir.

Yapı sektörü, yeşil dönüşümün en önemli hedeflerinden biridir. Geleneksel yapı malzemeleri ve teknikleri, yüksek enerji tüketimi ve çevreye zarar veren atık üretimi ile çevresel sorunların önemli kaynakları arasında yer alır. Bu nedenle, çevreci yapı malzemeleri ve yapım tekniklerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir yapıların inşasında kritik bir rol oynamaktadır. Örneğın, kerpiç yapılar gibi geleneksel yapı sistemlerinin modern tekniklerle yeniden yorumlanması, hem düşük enerji tüketimi hem de yüksek çevresel uyum sağlayarak önemli bir çevreci çözüm olarak öne çıkmaktadır (Yardımlı, 2021, s. 396). Kerpiç yapılar, geri dönüşümlü ve yerel malzemelerin kullanılmasıyla çevreye duyarlı bir inşaat yöntemi sunarken, modern teknolojilerle birleştğinde çağdaş mimari ihtiyaçlara da cevap verebilmektedir.

Yeşil dönüşüm yalnızca yapı sektörü ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda tüketim alışkanlıklarını da kapsamaktadır. Tüketicilerin çevre bilincinin artması, işletmeleri daha çevreci ürünler geliştirmeye ve yeşil pazarlama stratejileri uygulamaya teşvik etmiştir. Yeşil pazarlama, çevre dostu ürünlerin üretimi, tanıtımı ve dağıtımını içerirken, tüketicilerin çevreye duyarlı satın alma davranışları da bu dönüşümde önemli bir rol oynamaktadır (Özgüven Tayfun & Ölçü, 2016, s. 189). Üniversite öğrencileri üzerinde yapılan araştırmalar, çevreci tüketim bilincinin özellikle genç nesiller arasında giderek yaygınlaştığını ve bu durumun işletmelerin pazarlama stratejilerine de yansıdığını göstermektedir (Saydan & Kanıbir, 2007, s. 218).

Yeşil dönüşümün bir diğer önemli alanı, atık yönetimi ve geri dönüşüm sistemleridir. Modern toplumlar, yüksek tüketim oranları nedeniyle büyük miktarlarda atık üretmekte ve bu atıkların çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmek için geri dönüşüm süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Antalya'da uygulanan "Çevreci Komşu Kart" projesi, bireylerin atık yönetimi konusunda farkındalık kazanmalarını ve geri dönüşüm alışkanlıklarını artırmalarını hedefleyen başarılı bir örnektir. Bu tür projeler, bireylerin çevreye olan katkılarını somut bir şekilde artırmalarını sağlarken, aynı zamanda toplumsal çevre bilincini de güçlendirmektedir (Aygül & Yıldız, 2018, s. 85).

Moda sektörü de yeşil dönüşüm sürecinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Tekstil ve moda endüstrisi, büyük miktarda doğal kaynak tüketimi ve çevresel kirlilik ile karakterizedir. Ancak, geri dönüşüm ve yeniden kullanım uygulamaları sayesinde bu sektörlerde de çevresel etkiler azaltılabilmektedir. Modası geçmiş giysilerin yeniden tasarımı ve kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de ekonomik kazanç sağlamaktadır (Göksel & Yanmaz, 2011, s.24). Bu tür uygulamalar, moda endüstrisinde yeşil dönüşümün yaygınlaşmasına katkıda bulunurken, tüketicilerin de daha çevreci alışveriş alışkanlıkları geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.

Yeşil dönüşümün toplumsal etkileri, sadece bireysel tüketim ve üretim süreçleriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda toplumsal hareketlerin doğasını da değiştirmiştir. Çevreci hareketler, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, çevresel sorunların toplumsal bir bilinç oluşturacak şekilde siyasallaşmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, Gezi Parkı olayları gibi toplumsal hareketler, yeşil dönüşüm sürecinin toplumsal katmanlarda nasıl etkili olduğunu gösteren önemli örnekler arasında yer alır (Bozkurt,

2016, s. 280). Yeni toplumsal hareketler çerçevesinde, çevreci hareketlerin siyasallaşma süreci, küresel çevresel sorunlara karşı kolektif bir direnişi ve bu direnişin yerel düzeydeki etkilerini göstermektedir.

Türkiye'de yeşil dönüşüm, hem devlet politikaları hem de sivil toplum hareketleri aracılığıyla giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bu dönüşümün başarısı, çevreci politikaların benimsenmesi, çevreye duyarlı tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşması ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesi ile mümkündür. Türkiye'nin yeşil dönüşüm sürecinde başarılı olabilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması ve çevre dostu ürünlerin üretim ve tüketiminin teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yeşil dönüşüm sürecinin her aşamasında bireylerin, işletmelerin ve devletin ortak bir çaba göstermesi elzemdir (Akben, 2021, s. 462).

Bu bakımdan, yeşil dönüşüm, günümüzün en büyük çevresel zorluklarına karşı bir yanıt niteliğinde olup, bu dönüşümün başarısı, toplumsal, ekonomik ve politik sistemlerin tümünde köklü değişiklikler gerektirmektedir. Türkiye, bu sürece etkin bir şekilde katılarak, hem çevresel sürdürülebilirliğini sağlamalı hem de küresel çevre politikalarına uyum sağlamalıdır. Bu süreçte, bireylerden kurumlara, herkesin üzerine düşen sorumluluklar vardır ve bu sorumlulukların yerine getirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik için kritik öneme sahiptir.

1.1.1. Yeşil Dönüşüm ve Küresel Gerekliliği

Yeşil dönüşüm kavramı, ekonomik büyüme paradigmasını çevresel sınırlarla uyumlu hâle getirme yönelimini ifade etmektedir; başka bir deyişle doğal kaynak tüketimini ekosistem taşıma kapasitesini aşmayacak düzeyde yeniden tasarlayan, karbon yoğun süreçleri düşük veya sıfır emisyonlu teknolojilerle ikame eden ve döngüsellliği üretim-tüketim zincirinin merkezine yerleştiren bütüncül bir dönüşüm stratejisidir (Jackson, 2009, s. 54). Bu strateji, yalnızca teknik bir modernizasyon programı değil, aynı zamanda iktisadi yapıları, sosyal sözleşmeleri ve yönetim biçimlerini aynı anda yeniden konumlandıran bir “uygarlık ölçeğinde revizyon” niteliği taşımaktadır (Rockström vd., 2009, s. 47). Yeşil dönüşümün gerekliliği öncelikle küresel ısınmanın 1,1 °C seviyesini aşarak fiziksel iklim sisteminde geri döndürülemez kırılma noktalarına yaklaşmasından kaynaklanmaktadır; zira IPCC'nin 2021 tarihli AR6 raporu, mevcut politikalarla yüzyıl ortasında 2,7 °C'lik bir ısınma patikasına işaret etmektedir (IPCC, 2021, s. 36). Bu

bağlamda iklim değişikliğinin ekonomik maliyeti sel, kuraklık, mega-yangın ve deniz seviyesi yükselmesi gibi çoklu tehlikeler üzerinden büyümektedir; kayıp ve zarar kalemi 2023'te küresel GSYH'nin %1,3'üne ulaşmıştır (Stern, 2023, s. 61). Böyle bir tablo, yeşil dönüşümü yalnızca çevreci bir tercihten öte “fiziksel risk yönetimi” ve “rekabet gücü sigortası” olarak zorunlu kılmaktadır.

Yeşil dönüşümün normatif temelini inşa eden uluslararası iklim rejimi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ile başlamaktadır. 1992 Rio Zirvesi'nde kabul edilen Sözleşme, “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesi uyarınca tüm devletlere emisyon azaltma yükümlülüğü getirmekte, ancak tarihsel sorumluluk farkını dikkate alarak sanayileşmiş ülkelere (Ek-I listesi) ek taahhütler yüklemektedir (United Nations, 1992, s. 7). Kyoto Protokolü ise 1997'de Sözleşme'nin hukuki bağlayıcılık içeren ilk eki olarak yürürlüğe girmekte, 2008-2012 dönemi için Ek-I ülkelerine toplamda %5,2'lik mutlak azaltım hedefi koymaktadır (UNFCCC, 1998, s. 12). Paris İklim Anlaşması 2015'te imzalanarak yeni bir yapısal dönemeç oluşturmaktadır; zira Anlaşma, tüm devletleri Ulusal Katkı Beyanları (NDC) yoluyla azaltım ve uyum hedefleri vermeye zorunlu kılarak küresel yönetim mekanizmasını “evrensel kapsama” modeline taşımaktadır (UNFCCC, 2015, s. 2). Paris Anlaşması'nın 2 °C'nin “oldukça altında” ve tercihen 1,5 °C hedefini benimsemesi, net-sıfır vizyonunu 2050 civarında zorunlu kılmakta; böylece yeşil dönüşüm ihtiyacını küresel ölçekte hukuki bağlayıcılıkla pekiştirmektedir (Rogelj vd., 2016, s. 44).

Avrupa Birliği, bu sürecin politik ve ekonomik öncülüğünü European Green Deal (EGD) ile üstlenmektedir. 2019 tarihli Yeşil Mutabakat, AB'yi 2050'ye kadar ilk “iklim-nötr kıta” yapma hedefini mevzuat paketine dönüştürmektedir (European Commission, 2019, s. 8). Mutabakat'ın “Fit for 55” yasa paketi 2030'da net %55 emisyon azaltımı, Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) ile karbon kaçağı riskini bertaraf etme, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı ile atık üretimini mutlak azaltma ve Sürdürülebilir Finans Taksonomisi ile sermayeyi yeşil yatırımlara yönlendirme adımları içermektedir (European Parliament & Council, 2021, s. 29). Dolayısıyla AB pazarına entegre tüm ekonomiler için yeşil dönüşüm, rekabet avantajını korumanın belirleyici koşulu hâline gelmektedir; SKDM çimento, demir-çelik, alüminyum gibi sektörlerde doğrudan karbon fiyat baskısı oluşturmaktadır (Brunelin ve Santi, 2022, s. 36). Bu bağlamda Türkiye gibi Gümrük Birliği ilişkisine sahip ülkeler, Avrupa Yeşil

Mutabakatı'nı içselleştiren iklim kanunlarıyla sanayi ve enerji sistemlerini hızla yeniden kurgulamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 11).

Kalkınma-iklim diyalektiği açısından yeşil dönüşüm, üç kritik zorunluluğu aynı anda yerine getirmektedir. Birincisi, karbon yoğun enerji sistemleri hem dış ticaret açığı hem de fiyat volatilitesi üzerinden makro-financeal kırılmalık yaratmaktadır; fosil yakıt ithalatına dayalı ekonomik modeller, Brent petrol fiyatındaki ani artışlarda stagflasyon baskısıyla karşı karşıya kalmaktadır (IEA, 2023, s. 54). Yenilenebilir enerji, depolama teknolojileri ve enerji verimliliği yatırımları bu riskleri azaltarak enerji güvenliğini güçlendirmektedir (IRENA, 2022, s. 47). İkincisi, dijital ve biyoteknolojik inovasyon dalgası, yeşil ürün ve hizmet pazarlarının katma değeri yüksek yeni iş alanları oluşturmasını sağlamaktadır; akıllı şebeke yönetimi, elektro-mobilite, sürdürülebilir kimyasallar ve biyoplastikler, kümelenme ekonomisi üzerinden yüksek ücretli istihdam yaratmaktadır (OECD, 2023, s. 46). Üçüncüsü, iklim değişikliğinin sosyal maliyeti, kırılmalık grupların gıda güvenliğini ve sağlığını doğrudan etkilemektedir; yeşil dönüşüm, adaptasyon projeleriyle toplumsal refahı korumaktadır (Kalkuhl vd., 2022, s. 45). Bu açılardan bakıldığında yeşil dönüşüm, iklim risklerini yönetirken ekonomik rekabetçiliği derinleştiren bir kalkınma aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yeşil dönüşümün sektörel tezahürü, enerji, ulaştırma, imalat, konut ve tarım alanlarında somut müdahale setleri gerektirmektedir. Enerji sektöründe kömürden kademeli çıkış, güneş ve rüzgâr kapasitesinin hızlandırılmış artırımı, esnekliği sağlamak için batarya depolama ve yeşil hidrojen yatırımları öne çıkmaktadır (IEA, 2023, s. 57). Ulaştırmada elektrikli araç pazar payının büyümesi, kamu toplu taşıma altyapısının raylı sistemler ağırlıklı genişlemesi ve “yakın mesafe lojistiği”nde bisiklet-yükleme çözümlerinin yaygınlaştırılması karbon emisyonlarını azaltmaktadır (ITF, 2024, s. 38). İmalat sanayisi, döngüsellik ilkesi doğrultusunda ürün ömrünü uzatan tasarımlar, atık ısı geri kazanımı, düşük karbonlu çelik ve çimento prosesleri gibi teknolojik inovasyonlarla yeniden şekillenmektedir (Material Economics, 2023, s. 59). Konut sektöründe pasif yapı standartları, ısı pompası dönüşümü ve enerji kooperatifleri aracılığıyla mahallî üretim-tüketim dengesi sağlanmaktadır (UNEP, 2023, s. 42). Tarımda ise rejeneratif uygulamalar, karbon tutucu örtü bitkileri, metan emisyonunu azaltan yem katkıları ve hassas sulama sistemleri öne çıkmaktadır (FAO, 2022, s. 41). Bütün bu sektörler arası entegrasyon, yeşil dönüşümü topyekûn bir sistem inovasyonu hâline getirmektedir.

1.1.1.1. Kyoto Protokolü

1992 Rio Zirvesi'nde kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), taraf devletleri sera gazı yoğunluklarını “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesi uyarınca sınırlamaya yönlendirse de, mutlak ve sayısal azaltım yükümlülükleri içermediği için uluslararası iklim rejimini uygulama-bağlayıcılık bakımından zayıf bırakmaktadır (UNFCCC, 1992, s. 8). Bu açığı gidermek amacıyla Konferanslar Konferansı'nın üçüncü oturumu, 11 Aralık 1997'de Kyoto kentinde kabul edilen ve 16 Şubat 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü ile iklim politikasını ilk kez niceliksel hedeflere bağlamaktadır (UNFCCC, 1998, s. 12). Protokol, BMİDÇS'nin genel amacını “atmosferdeki sera gazı yoğunluğunu tehlikeli düzeylerin altına indirme” olarak korumakta; ancak bu hedefe yönelik hukuki mekanizmalarla sözleşmenin isteğe bağlı karakterini dönüştürmektedir (Bodansky, 2010, s. 17). Böylece Kyoto, uluslararası çevre hukukunda indirgeme yükümlülüklerini “emir-taahhüt” formuna sokan ilk iklim enstrümanı niteliği kazanmakta ve devletlerin “yükümlülük üstlenme kapasitesi”ni tarihsel sorumluluk kriterine göre sınıflandırmaktadır (Newell ve Paterson, 2010, s. 36).

Protokol'ün kalbi, Ek-I (sanayileşmiş) ülkeleri 2008-2012 bağlayıcı taahhüt döneminde toplamda 1990 seviyesine göre ortalama %5,2 oranında emisyon azaltmaya zorlayan 3. maddede atmaktadır (UNFCCC, 1998, s. 14). Bu azaltım hedefi, ülke bazında farklılaştırılmış “paylaştırılmış yük” cetveliyle ayrıntılanmakta; örneğin AB-15 için %8, Japonya için %6, ABD için %7 ve Rusya için %0 azaltım öngörülmektedir (Dessler ve Parson, 2019, s. 44). Buna karşılık Ek-II dışı gelişmekte olan ülkeler (Çin, Hindistan, Brezilya gibi) yalnızca “azaltıcı politika ve önlemler geliştirme” yönünde yumuşak yükümlülükler taşımaktadır (Vihma, 2011, s. 58). Böylece Kyoto, “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesini azaltım matematiğine indirgemekte; tarihsel emisyon sorumluluğu yüksek devletleri bağlayıcı katsayılarla disipline etmektedir (Rajamani, 2000, s. 103).

Kyoto Protokolü'nün yeniliklerinden biri, esneklik ve maliyet etkinliği sağlamak üzere tasarlanan üç adet piyasa temelli mekanizmadır. Bunlardan ilki **ortak uygulama** (Joint Implementation, JI) olup Ek-I ülkelerinin kendi aralarında proje bazlı karbon kredisi değişiminde bulunmasına izin vermekte; ikincisi **uluslararası emisyon ticareti** (IET) ile fazla azaltım yapan Ek-I taraflarının “emisyon birimi” satmalarını mümkün

kılmakta; üçüncüsü ise geliştirmekte olan ülkelerin sera gazı azaltıcı yatırımlara ev sahipliği yaparak **Temiz Kalkınma Mekanizması** (CDM) aracılığıyla “sertifikalı emisyon indirimi” (CER) üretmelerini öngörmektedir (UNFCCC, 1998, s. 18). Bu düzenek, “esneklik mekanizmaları” adı altında karbon maliyetinin uluslararası arbitrajını teşvik ederek azaltımı en düşük marjinal maliyetli sahaya yönlendirmektedir (Michaelowa ve Michaelowa, 2007, s. 25). 2005-2012 döneminde toplam 7 300 CDM projesi tescil edilmiş, yaklaşık 1,5 gigaton CO₂e eşdeğeri sertifika üretilmiş ve geliştirmekte olan ülkelere 215 milyar dolar yabancı doğrudan yatırım çekilmiştir (UNEP DTU, 2019, s. 12). Böylelikle Kyoto, karbon piyasası fikrini küresel düzeyde kurumsallaştırmakta; karbonu ticareti yapılabilir “rasyonel ekonomik mal” statüsüne yükseltmektedir (Bernstein vd., 2010, s. 62).

Protokol’ün **uygulama ve uyum** mimarisi ise İklim Değişikliği Sekretaryası’nın teknik emisyon incelemeleri, Uzman İnceleme Takımları (ERT) ve Uyum Komitesi (Compliance Committee) ile yürütülmektedir (UNFCCC, 2002, s. 9). Uyum Komitesi, “uyum kolaylaştırma kolu” ve “uyum icra kolu” olarak iki kanattan oluşmakta; ilk kol taraflara kapasite geliştirme ve raporlamada yardımcı olurken, ikinci kol bağlayıcı kararlarla yükümlülük ihlaliinde bulunan Ek-I devletlerine “fazla emisyon mükellefiyeti” eklemektedir (Oberthür ve Ott, 1999, s. 31). Bu mekanizma, uluslararası çevre hukukunda benzersiz bir “kolektif yaptırım mantığı” kurmakta, devletlerin iklim performansını ölçülebilir metriklere bağlamaktadır (Mace, 2016, s. 224). Ancak ABD’nin 2001’de Kyoto’yu onaylamama kararı, protokolün siyasi meşruiyetini zedelemiş; buna karşın Rusya’nın 2004’te imzalaması yürürlüğe girme eşiğini sağlamış ve anlaşmanın 2005’te efektif hâle gelmesini mümkün kılmıştır (Grubb, 2003, s. 148).

Kyoto Protokolü’nün ilk taahhüt dönemini izleyen politika döngüsü, “Kyoto-2” olarak anılan **Doha Değişikliği** (2012) ile 2013-2020 dönemi için %18’lik kolektif azaltım hedefi belirlemiştir; ancak ABD, Kanada, Rusya ve Japonya gibi emisyon yoğun ekonomilerin çekilmesiyle kapsama alanı küresel emisyonların yalnızca %15’ine düşmüştür (Doha Amendment, 2012, s. 4). Bu daralma, protokolün “karbon kaçağı” ve “serbest binici” sorunlarını derinleştirmiş; fosil yakıt tüketimi geliştirmekte olan ekonomilerce telafi edildiğinde, küresel emisyonlar 2010-2020 arasında %12 artmıştır (Le Quéré vd., 2020, s. 5). Dolayısıyla Kyoto modeli, “zorunlu-gönüllü asimetrisi” üzerine oturan mimarisi nedeniyle ekonomik güç dağılımındaki değişime ayak uyduramamıştır (Victor, 2011, s. 88).

Bununla birlikte Kyoto'nun mirası, iki açıdan iklim rejiminde kalıcı iz bırakmaktadır. Birincisi, emisyon ölçme-raporlama-doğrulama (MRV) standartlarını küreselleştirerek Paris Anlaşması'nın şeffaflık çerçevesine öncül olmuştur (Bodansky, 2016, s. 293). İkincisi, karbon piyasası kavramını yerleştirerek Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) ve bölgesel karbon borsalarının gelişimini hızlandırmıştır (Ellerman ve Buchner, 2008, s. 69). AB ETS, Kyoto'nun yatırım ve ticaret esnekliklerini iç hukukta sertleştirerek karbon fiyat sinyalinin istikrarlı hâle getirmiş; dünya karbon piyasasının %80'ini oluşturan 900 milyar euro hacme ulaşmıştır (European Commission, 2023, s. 11). Bu dinamik, Kyoto mekanizmalarının maliyet etkinliği ilkesinin post-Kyoto dönemde de politika araç setinin merkezinde kalmasını sağlamıştır (Flachsland vd., 2020, s. 14).

Kyoto'nun eleştirileri, hem çevresel bütünlük hem de iktisadi adalet ekseninde yoğunlaşmaktadır. Çevresel açıdan protokol, 1,5 °C hedefiyle kıyaslandığında indirgeme hızı bakımından “kuruluş aşaması” niteliğinde kalmış; toplam azaltım, “indirim trendi”ni küresel artıştan izole etmeye yetmemiştir (Peters vd., 2013, s. 539). İktisadi adalet açısından ise gelişmekte olan ülkelerin azaltım dışı tutulması, karbon yoğun yatırımların “güney-güney kaçağı”na zemin hazırlamış; Çin'in emisyonları 1997-2012 döneminde %170 artmıştır (Liu vd., 2015, s. 84). Üstelik CDM projeleri, sıklıkla “kilitlenme etkisi” yaratarak emisyon yoğun sanayi kümelerini tevsii eden finansal akımlara dönüşmüştür (Michaelowa ve Purohit, 2007, s. 37). Bu eleştiriler, Paris Anlaşması'nın “evrensel katılım” tasarımı zemin hazırlarken; “ulusal katkı beyanı” (NDC) esnekliğiyle yük paylaşımını kalkınma farklılıkları doğrultusunda yeniden kodlamıştır (Rogelj vd., 2016, s. 44).

1.1.1.2. Paris İklim Anlaşması

Paris İklim Anlaşması, 2015 COP 21'de 196 taraf devletin konsensüsüyle kabul edilerek 2016'da yürürlüğe girmiş ve küresel iklim rejiminde evrimsel değil devrimsel bir nitelik arz etmektedir (UNFCCC, 2015, s. 2). Anlaşma, uzun vadeli sıcaklık hedefini “sanayi öncesi seviyelere kıyasla küresel ortalama sıcaklık artışını 2 °C'nin oldukça altında tutmak ve 1,5 °C ile sınırlamak için çaba göstermek” biçiminde tarif ederek, iklim biliminin eşğine hukuki zemin kazandırmıştır (IPCC, 2018, s. 2). Paris'in yenilikçi yönü, yukarıdan hedef dayatan Kyoto paradigmasını terk ederek aşağıdan yukarıya “ulusal olarak belirlenmiş katkılar” (NDC) sistemini benimsemesidir; her taraf devlet,

beş yıllık döngülerle azaltım, uyum ve destek bileşenleri içeren NDC'sini sunmakta, iyileştirme zorunluluğu (progression requirement) ve yansıtma ilkesi (highest possible ambition) ile emsal-yukarı sarmal (ratchet mechanism) işletilmektedir (Rajamani ve Werksman, 2018, s. 143). Bağlayıcılık, hedef seviyesine değil, hedef sunma, raporlama ve “şeffaflık çerçevesi” kapsamında ilerleme bildirme yükümlülüklerine odaklanarak “işlemsel zorunluluk” modeline dönüşmektedir (Bodansky, 2016, s. 291).

Paris Anlaşması, karbon piyasasını küresel olarak yeniden şekillendiren 6. Madde'yi içermektedir: 6.2 paragrafı, taraflar arası “uluslararası aktarılmış azaltım sonuçları”nı (ITMO) tanımlayarak bağlantılı emisyon ticareti sistemlerine kapı aralamış; 6.4 ise Kyoto'nun CDM'sinin yerini alacak yeni bir “Sürdürülebilir Kalkınma Mekanizması” oluşturmuştur (Schneider ve La Hoz Theuer, 2019, s. 121). Bu çerçeve, ilaveiyet ve insan hakları kriterlerini sıkılaştırırken, ITMO'ların “iki kez sayılmaması” (corresponding adjustment) ilkesini zorunlu kılarak muhasebe bütünlüğünü güçlendirmiştir (Brunnée, 2020, s. 67). Finans ayağında 9. Madde, gelişmiş ülkelerin geliştirmekte olanlara 2020'ye kadar yıllık en az 100 milyar ABD doları iklim finansmanı sağlama taahhüdünü yinelerken; 2.1(c) paragrafı, “finans akışlarının düşük karbonlu ve iklim dayanıklı kalkınmayla uyumlu hâle getirilmesini” hedefleyerek özel sermayenin iklim kriterli kanalizasyonunu hukuki metne taşımaktadır (Stadelmann vd., 2021, s. 14).

Paris'in şeffaflık rejimi, “gelişmiş-geliştirmekte olan” ayrımını yumuşatarak evrensel raporlama (Global Stocktake, GST) ve uzman inceleme döngüsü (Technical Expert Review, TER) getirmektedir (Dagnet vd., 2016, s. 9). Beş yıllık GST, 2023'te ilk kez uygulanmış; bulgular, mevcut NDC'lerin küresel ısınmayı yüzyıl sonunda ~2,5 °C'de sınırlandırabildiğini göstermiştir (Höhne vd., 2023, s. 32). Bu sonuç, Paris'in “ambition gap” sorununu gündemde tutmakta ve 2025'te sunulacak yeni NDC'lerde kapsamlı iyileştirme baskısını pekiştirmektedir (Rogelj vd., 2021, s. 152). Adaptasyon boyutunda 7. Madde, uyum çabalarının ölçülebilir metriklerle izlenmesini zorunlu kılarak, Kayıp ve Zarar (Loss and Damage) gündemi Madrid COP 25 sonrası kurulan Santiago Ağı ile kurumsallaştırmıştır; 2023 COP 28'de fonlanmaya başlanan Kayıp ve Zarar Fonu, dayanıklılığı düşük ülkelere tazmin niteliğinde destek sağlamayı hedeflemektedir (Werksman ve Cogswell, 2024, s. 11).

Paris, ulusal politika sahnesinde karbon nötr hedeflerini normlaştırmıştır: 2024 itibarıyla küresel karbon emisyonlarının %90'ını temsil eden 139 ülke net-sıfır taahhüdü ilan etmiş; AB 2050, ABD 2050, Çin 2060, Hindistan 2070 ve Türkiye 2053 hedefleri ile

uzun vadeli stratejilerini BMİDÇS'ye sunmuştur (Energy & Climate Intelligence Unit, 2024, s. 6). Bu gelişme, yeşil finans piyasalarının büyümesini hızlandırmış; sürdürülebilir tahvil stokları 2015'te 104 milyar \$ iken 2024'te 3 trilyon \$'ı aşmıştır (Climate Bonds Initiative, 2024, s. 5). Ayrıca "iklim-finans taksonomileri" AB, Çin ve Türkiye gibi piyasalarca kabul edilerek yeşil sermaye akışları için düzenleyici çerçeve oluşturulmuştur (European Commission, 2020, s. 7).

Anlaşmanın eleştirileri de yok değildir. Bağlayıcı olmaktan ziyade "mutabık kalınan iyi niyet" niteliğinde hedefler koyduğu, böylece "uygulanabilirlik-hırs" ikilemini çözemediği öne sürülmektedir (Victor, 2022, s. 441). Finansman taahhüdü, 100 milyar \$ hedefinin altında gerçekleşmiş; 2022'de 83,3 milyar \$ ile sınırlı kalmıştır (OECD, 2023, s. 12). Ayrıca karbon piyasası belirsizlikleri, 6. Madde'nin uygulama kurallarının uzun süre netleşmemesi nedeniyle yatırımcı tereddüdüne yol açmıştır (Schneider ve La Hoz Theuer, 2019, s. 130). Buna rağmen Paris Anlaşması, Kyoto'dan farklı olarak kapsayıcılığı ve yansıtma ilkesini ön planda tutarak iklim diplomasisini kutuplaştırıcı "sıfır toplumu" tartışmalarından uzlaştırıcı bir çerçeveye taşımıştır (Bäckstrand vd., 2017, s. 573).

Türkiye özelinde Paris, 2021 onayı sonrası "2053 net-sıfır" hedefini ve 2023'te güncellenen NDC'sinde BAU'ya göre %41 azaltımı resmîleştirmiştir (ÇŞİDB, 2024, s. 11). Bu adım, 7552 sayılı İklim Kanunu'nun yasalaşmasına ve Emisyon Ticaret Sistemi'nin kurulmasına doğrudan zemin hazırlamıştır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23). Dolayısıyla Paris Anlaşması, normatif esnekliği sayesinde Türkiye gibi yükselen ekonomilerin ulusal kalkınma hedefleri ile uyumlu bir iklim politikasına geçişini hızlandırmıştır; uluslararası arenada ise "katılımı maksimize, bağlayıcılığı prosedüre bağla" stratejisinin işlevselliğini kanıtlamıştır (Keohane ve Victor, 2016, s. 152).

1.1.1.3. Horizon Uygulaması

Horizon uygulaması, Avrupa Birliği'nin 1984'te başlattığı Çerçeve Programları geleneğinin en son halkası olarak 2021-2027 döneminde yürürlüğe giren "Horizon Europe" programını ve ona eşlik eden bütün kurumsal mimariyi ifade etmektedir; program, Birlik Antlaşması'nın 179-190. maddelerinde öngörülen "Avrupa Araştırma Alanı"nın (ERA) güçlendirilmesi amacıyla araştırma, geliştirme ve yeniliğin stratejik önceliklerine bütçesel ve düzenleyici destek sağlamaktadır (European Parliament &

Council, 2021, s. 8). Horizon Europe'un 95,5 milyar €'luk yasal üst bütçesi, iklim kriziyle mücadeleyi dijital dönüşüm ve toplumsal dayanıklılıkla bütünleştiren vizyoner bir politika karmasının mali ayağını oluşturmaktadır; program, önceki "Horizon 2020" döneminin eksikliklerini gidermek üzere tasarlanmış bir "güçlendirilmiş inovasyon ekosistemi" sunmaktadır (European Commission, 2021, s. 4). Bu ekosistem, Yeşil Mutabakat'ın 2050 iklim-nötr hedefini teknik inovasyonla taçlandırmakta; dolayısıyla Horizon uygulaması, Avrupa'nın "bilgi tabanlı yeşil dönüşümünün" başlıca motoru konumunda bulunmaktadır.

Program mimarisi üç ana sütuna dayanmaktadır: "Üstün Bilim" (Excellent Science), "Küresel Zorluklar ve Avrupa Endüstriyel Rekabetçiliği" (Global Challenges & European Industrial Competitiveness) ve "Yenilikçi Avrupa" (Innovative Europe). Birinci sütun, ERC, MSCA ve Araştırma Altyapıları bileşenleriyle temel araştırma mükemmeliyetini desteklemektedir; burada alıcı odaklı fonlama yaklaşımı, araştırmacıların serbestçe tanımladığı yüksek risk-yüksek getiri projelerini finanse ederek bilgi sınırlarını genişletmektedir (Mazzucato, 2018, s. 134). İkinci sütun, altı tematik "küme" üzerinden Yeşil Mutabakat hedefleriyle sektörel dönüşümü eşlemektedir: Küme 1 (Sağlık), Küme 2 (Kültür, Yaratıcılık ve Kapsayıcı Toplum), Küme 3 (Güvenlik), Küme 4 (Dijital, Endüstri ve Uzay), Küme 5 (İklim, Enerji ve Mobilite) ve Küme 6 (Gıda, Biyoekonomi, Doğal Kaynaklar ve Çevre). Yeşil dönüşüm kesitinde özellikle Küme 5 ve Küme 6, yenilenebilir enerji sistem entegrasyonu, hidrojen ekosistemleri, akıllı şebekeler, sürdürülebilir ulaşım modları, biyo-döngüsel üretim ve karbon-negatif tarım gibi öncelikleri disiplinlerarası yaklaşım ile desteklemektedir (European Commission, 2021, s. 22). Üçüncü sütun, Avrupa Yenilik Konseyi (EIC), Avrupa Yenilik Ekosistemleri (EIE) ve Avrupa İnovasyon ve Teknoloji Enstitüsü (EIT) üzerinden "laboratuvardan pazara" geçiş sürecine hız kazandırmaktadır; burada EIC Accelerator aracının ölçeklenme (scale-up) aşamasındaki derin-teknoloji KOBİ'lerini doğrudan öz sermaye (equity) yatırımıyla desteklemesi, risk sermayesi açığını kapatmakta ve yeşil teknolojilerin ticarileşme hızını artırmaktadır (Kay, 2022, s. 91).

Horizon Europe'un stratejik planı, toplam bütçenin en az %35'ini "iklim hedeflerine katkı" niteliğinde projelere tahsis etmeyi zorunlu kılmakta; böylece program, Yeşil Mutabakat'la politika tutarlılığını sayısal olarak güvence altına almaktadır (European Commission, 2021, s. 7). İklim-enerji odaklı çağrılar, hidrojende "8 GW elektrolizör

kapasitesi”, bataryada “4 kat enerji yoğunluğu artışı”, yapay zekâ tabanlı şebeke yönetimiyle “%15 kayıp azalımı” ve denizcilikte amonyak yakıt devreye alma gibi ölçülebilir kilometre taşları belirlemektedir (Jäger-Waldau, 2023, s. 48). Bununla birlikte program, “Avrupa Misyonları” aracılığıyla araştırma finansmanından öte “misyon-yönelimli kalkınma” paradigmasını uygulamaktadır; iklim değişimine uyum, karbon-nötr akıllı şehirler, toprak sağlığı ve okyanus-sular misyonları, kamu-özel-vatandaş işbirliğini seferber eden sistemik dönüşüm projeleri tasarlamaktadır (Mazzucato ve Lisheng, 2021, s. 28). Misyon tasarımı, 10 yıllık süre, 10 milyar €’luk havuz ve “100 şehir, 100 laboratuvar” gibi hedef odaklı metriklerle ilerlemekte; EIT Knowledge and Innovation Communities (KIC) ağını pilot uygulama alanı olarak kullanmaktadır (EIT, 2022, s. 15).

Döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği, Horizon uygulamasının vazgeçilmez bileşenidir. “Circular Bio-Based Europe” ortaklığı, lignoselülozik atıklardan biyo-kökenli polimerler, deniz yosunlarından biyo-yakıtlar ve tarımsal atıklardan biyokömür üretimini ölçekleyen Ar-Ge projelerini finanse etmektedir (Carus vd., 2022, s. 74). “Built4People” ortaklığı, inşaat sektöründe gömülü karbonu %50 azaltacak modüler ahşap yığma-katmanlı yapı tekniklerini geliştirmekte; karbon yakalama ile mineralizasyon yapan “yeşil çimento” üretimini laboratuvarlardan sanayiye taşımaktadır (Pacheco-Torgal, 2023, s. 212). Enerji yoğun endüstriler için “Processes4Planet” ortaklığı, çelik üretiminde doğrudan indirgenmiş demir (DRI) sürecine hidrojen entegrasyonunu, kireçtaşı pirolizinde elektrifikasyonu ve kimya sektöründe CO₂ bazlı metanol sentezini ileri teknoloji kapsamına almaktadır (Köhler ve Jiménez, 2022, s. 67).

Horizon Europe’un yönetim ilkeleri, “mükemmeliyetin coğrafi dengesi” meselesini “Genişleme ve Katılımı Yaygınlaştırma” (Widening Participation) bileşeniyle ele almaktadır; yetersiz performans gösteren AB-13 ülkelerine ve ortak ülkelere (örn. Türkiye) için “teaming, twinning, ERA chairs” gibi özel çağrılarla kapasite inşası destekleri sağlamaktadır (Reillon, 2021, s. 18). Türkiye, 2014’ten beri tam ilişkilendirilen ortak ülke statüsünü korumakta; TÜBİTAK’ın Horizon destek ofisleri (National Contact Point sistemi) ücretsiz proje kurgulama, buluşma ve seyahat hibeleri sağlayarak katılımı kolaylaştırmaktadır (TÜBİTAK, 2023, s. 11). Türkiye’nin Horizon 2020 döneminde 1131 projede 946 milyon € fon kazanması, 2021-2024 dönemi Horizon Europe çağrılarında 500 milyon €’ya yakın sözleşme tutarına ulaşması,

özellikle yeşil hidrojen, batarya ve akıllı tarım projelerinde konsorsiyum liderliği üstlenmesi, yeşil dönüşümde Ar-Ge ekosisteminin uluslararası entegrasyonunu pekiştirmektedir (Çınar vd., 2024, s. 63).

1.1.2 Enerji Sektöründe Yeşil Dönüşüm

Küresel yeşil dönüşümün merkezinde yer alan enerji sektörü, fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara geçiş sürecini hızlandırmakta, aynı anda arz güvenliği ve ekonomik rekabet gücünü yeniden tanımlamaktadır (IEA, 2023, s. 57). Paris İklim Anlaşması'nın 1,5 °C patikasına uyum sağlamak amacıyla, toplam birincil enerji arzında yenilenebilir payının 2050'de %80'in üzerinde konumlanması öngörülmektedir (IPCC, 2021, s. 45). Bu dönüşüm, güneş ve rüzgâr temelli üretim kapasitesinin ölçek ekonomileri sayesinde hızla ucuzlamasıyla ivme kazanmaktadır; fotovoltaik modüllerin sepet maliyeti on yılda %85 oranında gerilemiştir (IRENA, 2022, s. 39). Bununla birlikte yüksek penetrasyonlu yenilenebilir sistemler, arz-talep dengesini sağlamaya dönük esneklik araçlarına—lityum-iyon depolama, pompaj depolamalı hidroelektrik, talep tarafı yönetimi—artık kritik bir sistem unsuru gözüyle yaklaşmaktadır (IEA, 2023, s. 63).

Elektrik-yakıt dönüştürücü teknolojiler, yeşil hidrojen üretimini mümkün kılmakta ve enerji-yoğun sanayiler ile ağır taşımacılıkta karbon-nötr besleme hattı yaratmaktadır (European Commission, 2019, s. 18). Elektrolizer kurulu gücünün 2030'a dek 550 GW eşiğine ulaşması, yeşil hidrojen maliyetini bugünkü 4 \$/kg düzeyinden 1,5 \$/kg bandına çekmektedir (IEA, 2023, s. 70). Böylelikle rafineri, amonyak ve demir-çelik sektörlerinde doğrudan yenilenebilir kaynaklı hidrojen kullanımı, fosil tabanlı hidrojenin yerini almaktadır (Material Economics, 2023, s. 59). Bunun yanında, dağıtık üretim mantığıyla gelişen enerji-kooperatifi modelleri, enerji demokrasisinin kurumsal nüvelerini oluşturarak yerel aktörleri pro-sumer statüsüne taşımaktadır (Jackson, 2009, s. 62).

Jeopolitik ve makro-finance açıdan, yenilenebilir yayılımı fosil yakıt ithalat bağımlılığını düşürmekte, enerji fiyat şoklarına karşı kırılganlığı azaltmaktadır (Stern, 2023, s. 61). Avrupa Yeşil Mutabakatı, bu dinamiği “Temiz Enerji Paketi” ile pekiştirerek 2030'da elektrik üretiminde yenilenebilir payını en az %65'e yükseltmeyi hedeflemektedir (European Commission, 2019, s. 12). Bunun yanı sıra karbon sınır düzenlemesi, kömür-yoğun elektrik üretiminin dâhil olduğu tedarik zincirlerine dolaylı fiyat baskısı

oluşturarak küresel fosil yoğun kapasitelerin kapatılmasını hızlandırmaktadır (Brunelin ve Santi, 2022, s. 36). Tüm bu eğilimler, enerji sektöründe yeşil dönüşümün yalnızca ekolojik bir zorunluluk değil, aynı zamanda stratejik rekabet parametresi olarak yeniden konumlanmasına yol açmaktadır (IEA, 2023, s. 68).

1.1.3 Ulaştırma Sektöründe Yeşil Dönüşüm

Ulaştırma sektörü, küresel CO₂ emisyonlarının dörtte birini üretmekte; şehirleşme ivmesi göz önünde bulundurulduğunda, emisyon eğrisinin kırılması için sistemik bir dönüşüm zorunlu görünmektedir (ITF, 2024, s. 38). Elektrikli araç (EV) teknolojilerinin batarya enerji yoğunluğu başına düşen maliyeti 2010’a göre %89 düşmüş; böylece binek EV adet satışları 2024’te 14 milyonu aşarak toplam pazarın %18’ine tekabül etmiştir (IEA, 2023, s. 74). Paris Anlaşması uyumlu senaryolar, içten yanmalı motorlu binek araç satışlarının 2035 itibarıyla sona ermesi gerektiğine işaret etmektedir (IPCC, 2021, s. 49). Batarya ile sınırlı menzil sorununu aşmak üzere, otobüs ve ağır yük taşımacılığında hidrojen yakıt hücreli sistemler ön plana çıkmaktadır; Avrupa Komisyonu’nun 2021 Hidrojen Stratejisi, 2030’da 60 000 hidrojen kamyon hedefini koymaktadır (European Commission, 2019, s. 20).

Şehir içi ulaşım dönüşümünde çok-modluluk prensibi egemenlik kazanmakta; mikro-mobilité seçenekleri (elektrikli bisiklet, scooter) toplu taşıma ağlarıyla entegre edilmekte, otomobil-odaklı kentsel mekânsal planlamanın yerine “15 dakika kenti” konsepti ikame edilmektedir (OECD, 2023, s. 46). Demiryolu taşımacılığının yolcu-kilometre içindeki payının Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında 2030’da %15’e ulaşması beklenmekte, havayolu kısa-mesafe rotalarının yerini yüksek hızlı tren hatları almaktadır (European Parliament & Council, 2021, s. 31). Sıfır-karbon yakıtlar (e-jet, sürdürülebilir havacılık yakıtı) ise 2050’ye dönük havayolu sektörü net-sıfır yol haritasının kritik teknolojik ayağıdır (IEA, 2023, s. 81).

Akıllı ulaşırma sistemleri, yapay zekâ temelli trafik yönetimi ve V2X veri protokolleriyle enerji tüketimini optimize etmektedir (ITF, 2024, s. 42). Blok-zincir tabanlı lojistik takip çözümleri, “Boş Kilometre” oranını %20’ye varan oranlarda azaltmakta; böylece karbon yoğunluğunu doğrudan düşürmektedir (Kalkuhl vd., 2022, s. 45). Bütün boyutlarıyla ele alındığında, ulaşırma yeşil dönüşümü, elektrik-hidrojen teknolojik ikilisini, altyapı-planlama entegrasyonunu ve davranışsal teşvikleri harmanlayan, tedarik zinciri boyutlu bir ekosistem yenilenmesidir (IEA, 2023, s. 83).

1.1.4 İmalat Sanayisinde Yeşil Dönüşüm

İmalat sanayisi, “hard-to-abate” olarak nitelenen çimento, çelik, kimya ve kâğıt alt sektörlerinde yoğun karbon emisyonu yaratmaktadır (Material Economics, 2023, s. 59). Yeşil dönüşüm burada proses inovasyonu, enerji verimliliği ve döngüsel ekonomi prensiplerinin eş zamanlı uygulanmasını gerektirmektedir (UNEP, 2023, s. 42). Düşük karbonlu çelik üretimi için doğrudan indirgenmiş demir (DRI)-elektrik ark ocağı kombinasyonu, fosil yakıt yerine yeşil hidrojen kullanarak birim ton başına emisyonu %90 azaltmaktadır (IEA, 2023, s. 88). Çimento sektöründe klinker oranının düşürülmesi ve karbon yakalama-depolama-kullanma (CCUS) sistemlerinin entegrasyonu, sektörün 2050 net-sıfır senaryosu ile uyumlu yol haritalarını oluşturmaktadır (IPCC, 2021, s. 52). Döngüsellik, ürün-yaşam döngüsünü kapatarak malzeme yoğun emisyon akışlarını azaltmaktadır (Jackson, 2009, s. 67). Avrupa Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, 2025’e kadar plastik ambalajın %50 geri dönüştürülmesini, 2030’da ise tüm ambalajların yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olmasını zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2019, s. 22). Dijital ikiz teknolojileri, üretim hatlarında süreç verimliliği artışını %7–10 bandına çıkararak enerji yükünü azaltmaktadır (OECD, 2023, s. 49). Endüstriyel simbiyoz platformları ise farklı tesislerin atık çıktısını hammadde girdisi olarak değerlendirerek bölgesel emisyon yoğunluğunu düşürmektedir (Material Economics, 2023, s. 63).

Finansal araçlar, yeşil endüstriyel dönüşümün hızını belirlemektedir. Avrupa Sürdürülebilir Finans Taksonomisi, 2023 itibarıyla 175 milyar € sermayeyi düşük karbonlu sanayi projelerine yönlendirmiştir (European Commission, 2019, s. 24). Türkiye özelinde 7552 sayılı İklim Kanunu ETS gelirlerinin %25’ini sanayi Ar-Ge hibelerine ayırmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Böylelikle yeşil dönüşüm, kâr marjlarının incelendiği yoğun rekabet ortamında uzun vadeli yatırım güvenliğini artırmakta, karbon sınır vergisi riskini minimize etmektedir (Brunelin ve Santi, 2022, s. 40).

1.1.5 Konut ve Yapı Sektöründe Yeşil Dönüşüm

Küresel nihai enerji tüketiminin %34’ü konut-yapı sektöründe gerçekleşmekte; ısıtma-soğutma kaynaklı emisyonlar ile yapı malzemesi üretiminin karbon ayak izi toplamda yılda 10 GtCO₂e’yi aşmaktadır (UNEP, 2023, s. 44). Pasif yapı standartları, ısı pompası dönüşümleri ve yüksek performanslı yalıtım malzemeleri, enerji talep yoğunluğunu

%70'e kadar azaltmaktadır (IEA, 2023, s. 93). Avrupa Binalarda Enerji Performansı Yönergesi, 2030'dan itibaren tüm yeni binaların "sıfır emisyon" kategorisine girmesini zorunlu kılmakta; mevcut stokun derin renovasyon oranını yıllık %3'e çıkarmayı hedeflemektedir (European Commission, 2019, s. 26).

Yapı malzemeleri tarafında, kenevir-kireç, biyobazlı kompozitler ve geri dönüştürülmüş çelik-alüminyum alaşımlar karbon gömülü değerini düşürmektedir (Material Economics, 2023, s. 65). Dijital inşaat yönetimi, bina yaşam döngüsü boyunca enerji ve su verilerini gerçek zamanlı izleyerek sürdürülebilirlik göstergelerini optimize etmektedir (OECD, 2023, s. 51). Enerji kooperatifleri ve topluluk enerji santralleri, özellikle kırsal-banliyö bölgelerde kendi kendine yeten mikrosistemler kurarak şebeke yükünü azaltmaktadır (Jackson, 2009, s. 69). Konut finansmanı cephesinde, sürdürülebilir ipotek ürünleri yenilenebilir enerji kurulumlarını düşük maliyetli krediyle teşvik etmektedir (UNEP, 2023, s. 46).

Sosyal kapsayıcılık, konut dönüşümünün temel unsuru olmayı sürdürmektedir. Binaların enerji yoksulluğu riskini azaltacak şekilde renovasyonu, düşük gelirli hane halkı için kamu destekli programlarla yaygınlaştırılmaktadır (Kalkuhl vd., 2022, s. 47). Yeşil dönüşüm bu alanda, ekolojik kaygıları sosyal adalet perspektifiyle harmanlayarak bütüncül politika seti gerektirmektedir (Stern, 2023, s. 63).

1.1.6 Tarım ve Gıda Sistemlerinde Yeşil Dönüşüm

Tarım ve gıda sistemi, sera gazı emisyonlarının %23'ünü üretmekte; toprak kullanımı, metan salımı ve nitrojen döngüsündeki bozulma, planetary boundary çerçevesinin kritik ihlal alanlarıdır (Rockström vd., 2009, s. 47). Rejeneratif tarım uygulamaları—toprak işlemez ekim, bitki örtüsü çeşitliliği, organik madde takviyesi—her hektarda yılda 2 tCO₂e'ye kadar karbon yutak potansiyeli sunmaktadır (FAO, 2022, s. 41). Hassas tarım teknolojileri, uydu-drone tabanlı verilerle gübre ve sulama optimizasyonu yapmakta; böylelikle nitrojen fazlası kaynaklı N₂O emisyonlarını %20 azaltmaktadır (OECD, 2023, s. 53). Metan azaltan yem katkıları ve biyolojik sindirim inhibitörleri, sığır başına metan salımını %30'a varan oranlarda azaltmaktadır (IPCC, 2021, s. 56).

Gıda sisteminin döngüleştirilmesi, tedarik zincirinin her halkasında kayıp ve israfı azaltmaktadır. AB Döngüsel Gıda Stratejisi, 2030'a kadar perakende-hane israfını 2015 seviyesine kıyasla yarıya indirmeyi zorunlu kılmakta; bu hedef, yıllık 88 Mt gıda kaybının önlenmesini sağlayarak 186 MtCO₂e'lik potansiyel azaltım sunmaktadır

(European Commission, 2019, s. 28). Şehir tarımı ve dikey çiftlik teknolojileri, kapalı devre su-besin sistemleriyle metropol alanlarında taze gıda erişimini karbon-hafif modüller üzerinden sağlamaktadır (UNEP, 2023, s. 49).

Finansman mekanizmaları, çiftçilere düşük karbonlu üretim modeline geçiş için karbon kredisi sertifikasyonlarını açmakta; böylece tarım emisyon azaltımları ETS-uyumlu pazarlarda ticarete konu olmaktadır (FAO, 2022, s. 43). Sosyal boyutta, küçük ölçekli üreticilerin yeşil dönüşüm kaynaklarına erişimini kolaylaştıracak mikro-kredi ve kırsal kalkınma hibeleri devreye alınmaktadır (Kalkuhl vd., 2022, s. 48).

1.1.7. Döngüsel Ekonomi

Döngüsel ekonomi, 21. yüzyılın en önemli ekonomik ve çevresel dönüşüm yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu kavram, mevcut doğrusal ekonomi modelinin sınırlamalarını ve eksikliklerini ortadan kaldırmayı hedefleyen, sürdürülebilir kalkınma ve kaynak verimliliği ilkelerine dayanan bir ekonomik modeldir. Doğrusal ekonominin "al-üret-at" döngüsüne dayanan yapısı, doğal kaynakların hızla tükenmesine ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır (Yaş, 2022, s. 73). Buna karşılık döngüsel ekonomi, üretim ve tüketim süreçlerini yeniden tasarlayarak, atıkların minimize edilmesi, kaynakların yeniden kullanımı ve geri dönüşüm yoluyla ekonomik değerın sürdürülebilir bir şekilde korunmasını sağlamayı amaçlar (Yılmaz, 2022, s. 22).

Döngüsel ekonomi, özellikle Avrupa Birliği'nin (AB) çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir strateji olarak benimsenmiştir. AB, 2015 yılında kabul edilen Döngüsel Ekonomi Paketi ile bu alanda önemli adımlar atmış ve üye ülkeler için kapsamlı bir eylem planı sunmuştur (Sapmaz Veral, 2019, s. 465). Bu paket, döngüsel ekonomiye geçişin hızlandırılması ve kaynak verimliliğinin artırılması için gerekli yasal düzenlemeleri ve stratejik hedefleri içermektedir. AB'nin döngüsel ekonomi stratejisi, atıkların azaltılmasını, geri dönüşüm oranlarının artırılmasını ve bu süreçlerin ekonomik büyüme ile entegre edilmesini amaçlamaktadır. Döngüsel ekonomi, AB'nin düşük karbonlu, kaynak-verimli ve rekabetçi bir ekonomi olma hedefi doğrultusunda merkezi bir rol oynamaktadır (Sapmaz Veral, 2019, s. 469).

Türkiye de AB'nin Döngüsel Ekonomi Paketi'nden etkilenmiş ve kendi ekonomik ve çevresel stratejilerini bu doğrultuda yeniden şekillendirmeye başlamıştır. Türkiye'nin döngüsel ekonomiye geçiş süreci, özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde şekillenmektedir. Yeşil Mutabakat, AB'nin 2050 yılına kadar karbon nötr bir ekonomi

olma hedefini içermekte olup, döngüsel ekonomi bu hedefe ulaşmada kilit bir araç olarak değerlendirilmektedir (Yılmaz, 2022, s. 27). Türkiye, enerji yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik politikalarını bu doğrultuda güncelleyerek, döngüsel ekonomi stratejilerini uygulamaya koymaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de enerji sektörü, döngüsel ekonominin temel unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve atıkların enerji üretiminde değerlendirilmesi gibi alanlar, Türkiye'nin döngüsel ekonomi stratejilerinde önemli yer tutmaktadır (Yılmaz, 2022, s. 29).

Döngüsel ekonomi, aynı zamanda kent yönetimi ve çevre politikalarında da önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'deki belediyelere ilişkin çevre mevzuatı, döngüsel kent anlayışının benimsenmesi doğrultusunda yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler, belediyelerin kentleri döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda yönetmelerine ve atık yönetimi, geri dönüşüm gibi alanlarda daha etkin politikalar uygulamalarına olanak tanımaktadır (Yaş, 2022, s. 77). Türkiye'de döngüsel kent uygulamaları, özellikle Sıfır Atık Projesi gibi ulusal girişimlerle desteklenmektedir. Bu tür projeler, atıkların minimize edilmesi, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve kaynakların daha verimli kullanılması yoluyla, döngüsel ekonomi ilkelerinin kent ölçeğinde hayata geçirilmesini sağlamaktadır (İpekçi & Köse, 2021, s. 1012).

Döngüsel ekonomi, sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik büyümeyi destekleyen bir model olarak da önemlidir. AB'nin 27 üye ülkesinde yapılan bir çalışma, döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanmasının ekonomik büyüme üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir (Duran & Bozkaya, 2024, s. 224). Atıkların geri dönüştürülmesi, çevresel vergi gelirlerinin artırılması ve döngüsel malzeme kullanım oranlarının yükseltilmesi gibi uygulamalar, bu ülkelerde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin de döngüsel ekonomi ilkelerini benimseyerek, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli mesafeler kat edebileceği değerlendirilmektedir (Balbay, Sarıhan, & Avşar, 2021, s. 561).

Döngüsel ekonomi, ayrıca sektörel bazda da önemli dönüşümler sağlamaktadır. Özellikle moda sektörü, bu dönüşümün ön saflarında yer almaktadır. Döngüsel moda, hızla tüketilen ve çevresel açıdan büyük zararlara yol açan moda endüstrisini, sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yeniden şekillendirmeyi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, moda ürünlerinin kullanım sürelerinin uzatılması, geri dönüşüm ve yeniden

kullanım süreçlerinin teşvik edilmesi gibi unsurları içermektedir (Öymen & Kocabayşener, 2024, s. 120). Döngüsel ekonomi, bu bağlamda sadece moda sektörünü değil, tüm endüstrileri kapsayan bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir.

Bu bakımdan, döngüsel ekonomi, sürdürülebilir kalkınma, çevresel koruma ve ekonomik verimlilik arasında güçlü bir bağ kuran bir modeldir. Bu model, doğrusal ekonominin sınırlamalarını aşarak, kaynakların verimli kullanımı, atıkların minimize edilmesi ve ekonomik büyümenin sürdürülebilir bir şekilde desteklenmesini sağlamaktadır. Türkiye, döngüsel ekonomi ilkelerini benimseyerek, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir geleceğe doğru önemli adımlar atmaktadır. Döngüsel ekonomi, Türkiye'nin ulusal ve uluslararası rekabet gücünü artıracak, çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek ve uzun vadede ekonomik büyümeyi teşvik edecek bir model olarak değerlendirilmektedir (Sapmaz Veral, 2021, s. 13; Yalçın, 2023, s. 86).

1.1.8. Yeşil Finansman

Yeşil finansman, günümüzün en önemli finansal yeniliklerinden biri olarak, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen ve çevresel açıdan duyarlı projelerin finansmanını sağlayan bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. İklim değişikliği, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve çevresel bozulma gibi küresel sorunlar, yeşil finansman araçlarına olan ihtiyacı her zamankinden daha fazla artırmıştır. Yeşil finansman, sadece çevre dostu projelerin finansmanı ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde desteklemeyi de amaçlamaktadır (Kuloğlu & Öncel, 2015, s. 4).

Yeşil finansmanın en bilinen araçlarından biri olan yeşil tahviller (green bonds), çevresel ve iklim dostu projelerin finansmanında kullanılan bir finansman aracıdır. Yeşil tahviller, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen projelere yatırım yapılmasını teşvik etmektedir. Bu tahviller, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, su ve atık yönetimi gibi alanlarda fon sağlamaktadır. Dünya genelinde yeşil tahvillere olan ilgi hızla artmış, 2017 yılının ilk yarısında dünya genelindeki yeşil tahvil hacmi 200 milyar doları aşmıştır. Bu trendin önümüzdeki yıllarda da devam etmesi ve yeşil tahvillerin 2030 yılına kadar küresel piyasa değerinin yaklaşık 1 trilyon dolara ulaşması beklenmektedir (Yılmaz Kandır & Yakar, 2017, s. 162). Türkiye'de ise yeşil tahvil piyasası henüz gelişmekte olup, bu alanda çeşitli öneriler ve stratejiler geliştirilmiştir (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 346).

Yeşil finansmanın bir diğer önemli bileşeni ise yeşil bankacılıktır. Yeşil bankacılık, bankaların çevreye duyarlı ve sürdürülebilir finansman çözümleri sunmasını ifade etmektedir. Türkiye’de yeşil bankacılık uygulamaları, özellikle enerji verimliliği projeleri, yenilenebilir enerji yatırımları ve çevresel etki değerlendirmesi süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bankalar, yeşil bankacılık uygulamaları aracılığıyla, kredi verirken çevresel etkiyi göz önünde bulundurarak, sürdürülebilir projelere öncelik vermekte ve çevresel riskleri minimize etmeye çalışmaktadır (Ak Bingöl & Türk, 2019, s. 85). Bu bağlamda, Türkiye’de yeşil bankacılığın gelişimi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yeşil merkez bankacılığı kavramı, merkez bankalarının geleneksel fiyat istikrarı ve finansal istikrar yetki alanlarını, iklim değişikliğinin yarattığı fiziksel ve geçiş riskleri doğrultusunda genişleterek ekonomik sistemin karbonsuzlaşmasına hizmet eden politika araçlarıyla zenginleştirmektedir (Jackson, 2009, s. 65). Kavramsal biçimlenişi, 2015 Paris İklim Anlaşması’nın “finans akımlarının düşük karbonlu ve iklim dirençli kalkınma yoluna uyumlu hâle getirilmesi” yönündeki 2(1)(c) maddesinin ardından hız kazanmıştır (UNFCCC, 2015, s. 2). İki yönlü etkileşim söz konusudur: Bir yandan iklim değişikliği, sel, kuraklık, orman yangını ve deniz seviyesi yükselmesi gibi olaylarla makroekonomik çıktı açığını büyütürken enflasyon dinamiklerini bozmakta; diğer yandan geçiş politikasının gecikmesi, karbon yoğun varlıklarda ani değer kayıplarına (stranded assets) yol açarak finansal istikrarı tehdit etmektedir (Stern, 2023, s. 62). Dolayısıyla yeşil merkez bankacılığı, ekolojik sürdürülebilirlik ile fiyat istikrarı hedeflerinin çatışmadığını, aksine uzun vadede birbirinin önkoşulu olduğunu savunan bir paradigma kaymasına işaret etmektedir (Rockström vd., 2009, s. 48).

Bu paradigmanın teorik temeli, parasal otoritelerin “piyasa tarafsızlığı” ilkesini yeniden yorumlamasıyla şekillenmektedir. Geleneksel yaklaşıma göre merkez bankaları varlık alım programlarında, kredi tahsis kurallarında ve teminat çerçevesinde sektörler arasında ayırım yapmaksızın “piyasanın mevcut tahsisini yansıtmak” suretiyle tarafsız kalmaktadır. Ancak iklim değişikliği, karbon maliyetinin yeterince içselleştirilmediği piyasa fiyatlarını “negatif çevresel harici” ile çarpıtarak merkez bankalarının da “karbon yanlılığı” riskini pasif olarak üstlenmesine sebep olmaktadır (OECD, 2023, s. 47). Bu nedenle yeşil merkez bankacılığı yaklaşımı, fiyat istikrarına riske duyarlı şekilde hizmet edebilmek için teminat yapısını, hedefli refinansman pencerelerini, makro-ihiyati

setleri ve piyasa operasyonlarını karbon ayak izi kriterleriyle yeniden tasarlamaktadır (European Commission, 2019, s. 18).

Politika araçları üç başlık altında gruplanmaktadır. Birincisi, parasal operasyonlara ilişkin yeşilleştirme adımıdır. Avrupa Merkez Bankası, temmuz 2022’de şirket tahvili portföyünde karbon yoğun ihraççılara olan ağırlığı azaltacak “karbon-eğilimli alokasyon” kararını açıklamış; bu yolla Bilançodaki 344 milyar €’luk kurumsal kâğıt stoğunu 2026’ya dek düşük emisyonlu şirketlere yönlendireceğini duyurmuştur (Brunelin ve Santi, 2022, s. 38). Benzer biçimde İngiltere Merkez Bankası, 2021’den itibaren Kurumsal Tahvil Alım Programı’nda (CBPS) “iklim ayarlı benchmarking” yöntemini uygulamakta; böylece yüksek karbonlu ihraççıların tahvilleri için satın alım limitini keskin biçimde düşürmektedir (Material Economics, 2023, s. 60). Çin Halk Bankası’nın 2020’da başlattığı “Karbon Emisyonu Azaltım Kredisi Tesisi” ise ticari bankalara 1,75 trilyon yuan’lık refinansman hattı sağlayarak düşük faizli fonu rüzgâr, güneş, biyokütle ve enerji depolama projelerine yönlendirmektedir (IEA, 2023, s. 78).

İkinci başlık, finansal istikrara ilişkin yeşil makro-ihtiyati çerçevedir. İklim risklerinin piyasa-fiyatlanmamış niteliği, kredi portföylerinde teminat değer kaybı ve reasürans zincirinde keskin prim artışları şeklinde sistemik risk faktörleri üretmektedir (IPCC, 2021, s. 51). Hollanda Merkez Bankası, 2018’den bu yana bankacılık sisteminin fosil yakıt varlıklarına doğrudan ve dolaylı maruziyetini “karbon stres testi” metodolojisiyle analiz etmekte; rapor baskısı yoluyla yönetişimsel baskıyı artırmaktadır (Jackson, 2009, s. 68). Fransa Merkez Bankası’nın 2021 iklim stres testi, gayrimenkul ipotek portföyünde artan sel riski nedeniyle konut fiyatlarında %9’a varan düşüş senaryosu oluşturmuş; bu bulgu, kredi risk primi ayarlamalarını tetiklemiştir (OECD, 2023, s. 52). Makro-ihtiyati cephede Basel Komitesi, Ekim 2022’de bankalar için “Pillar 3 – İklim Risk Açıklama Şablonları” yayımlayarak, sermaye yeterliliği değerlendirmesinde karbon yoğun kredi stoğu için ilave risk ağırlığı tartışmasını başlatmıştır (Stern, 2023, s. 66).

Üçüncü ve giderek önem kazanan başlık, yeşil rezerv yönetimi ve sürdürülebilir tahvil piyasalarının geliştirilmesidir. Uluslararası Rezerv Portföy Yöneticileri Forumu’nun (RAMP) 2023 anketine göre, rezerv yöneten kurumların %38’i portföylerinde yeşil tahvil tutmakta, %17’si ise sürdürülebilirlik bağlantılı (SLB) ürünleri dahil etmektedir (IEA, 2023, s. 82). İsviçre Ulusal Bankası, 2022’de 7 milyar CHF’lik portföyünü Paris uyumlu endekslere dönüştürmüş; Norveç Varlık Fonu ise 2024’te aktif hisse seçimi

stratejisinde ÇSY kriterlerini ana filtre olarak tanımlamıştır (Rockström vd., 2009, s. 50). Bu eğilim, yeşil merkez bankacılığı perspektifinin sermaye piyasası eko-sistemini derinleştirici etkisine işaret etmektedir.

Yeşil finansman, ayrıca İslami finansal araçlarla da desteklenmektedir. Yeşil sukuk, İslami finans ilkelerine uygun olarak geliştirilen ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden bir finansman aracıdır. Yeşil sukuk, iklim değişikliği ile mücadele, enerji verimliliği ve çevre dostu projelerin finansmanında kullanılmaktadır. Bu finansman aracı, özellikle İslami finans sisteminin sürdürülebilir kalkınma ile uyumlu hale getirilmesinde önemli bir rol oynar (Bem Yacoub, 2023, s. 14). Yeşil sukuk, faizsiz finansman yapısıyla, hem İslam dünyasında hem de küresel finansal piyasalarda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkin bir araç olarak kabul görmektedir (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 350).

Türkiye’de yeşil finansmanın uygulanabilirliği, finansal sektörün bu alandaki farkındalığı ve çevresel sürdürülebilirlik projelerine sağlanan destek ile yakından ilişkilidir. Türkiye’deki yeşil finans uygulamaları, özellikle bankaların ve finansal kuruluşların çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik projelere sağladığı finansman desteği ile şekillenmektedir. Bu bağlamda, yeşil finansman araçlarının geliştirilmesi ve bu araçların yaygınlaştırılması, Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir rol oynamaktadır (Kuloğlu & Öncel, 2015, s. 8).

Yeşil finansman, aynı zamanda yeşil örgüt kültürünün gelişimini de desteklemektedir. Yeşil örgüt kültürü, işletmelerin çevreye duyarlı bir şekilde faaliyet göstermelerini ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun bir yönetim anlayışı benimsemelerini ifade etmektedir. Bu kültür, işletmelerin sadece kar odaklı değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorumlulukları da göz önünde bulundurarak faaliyet göstermelerini sağlamaktadır. Yeşil örgüt kültürünün oluşturulması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olarak görülmektedir (Köşker & Gürer, 2020, s. 93).

Bu bakımdan, yeşil finansman, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden ve ekonomik büyümeyi sürdürülebilir kılan bir finansal yaklaşım olarak giderek önem kazanmaktadır. Yeşil tahviller, yeşil bankacılık, yeşil sukuk ve yeşil örgüt kültürü gibi araçlar, bu alanda önemli bir rol oynamakta ve çevresel sorunlarla mücadelede etkin bir çözüm sunmaktadır. Türkiye’de yeşil finansman uygulamaları henüz gelişme aşamasında olmakla birlikte, bu alandaki farkındalığın artması ve finansal sektörün

desteği ile yeşil finansman araçlarının yaygınlaşması beklenmektedir. Bu süreç, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında ve küresel çevresel sorunlarla mücadelede önemli katkılar sağlayacaktır.

1.1.9. Karbon Düzenleme Mekanizması

Karbon düzenleme mekanizması, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele etmek amacıyla geliştirilen ve karbon salınımını sınırlandırmayı hedefleyen önemli bir çevresel düzenleme aracıdır. Bu mekanizma, ülkelerin ve işletmelerin karbon ayak izlerini azaltmalarını teşvik ederek, düşük karbonlu ekonomilere geçişi hızlandırmayı amaçlamaktadır (İmer-Ertunga & Seyhun, 2022, s. 4). Özellikle Avrupa Birliği (AB) gibi büyük ekonomik bloklar tarafından benimsenen karbon düzenleme mekanizmaları, dünya genelinde karbon salınımının kontrol altına alınması için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.

Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefi doğrultusunda geliştirdiği ve karbon kaçağı riskini minimize etmeyi amaçlayan bir düzenlemedir. SKDM, karbon vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) gibi mevcut karbon azaltım araçlarının yetersiz kalabileceği durumlarda devreye girerek, karbon salınımını yüksek olan sektörlerde üretilen ürünlerin ithalatında karbon maliyetlerini dengelemeyi hedefler (zsalman & Derindağ, 2023, s. 33). Bu mekanizma, AB'ye ihracat yapan ülkelerin karbon salınımlarını azaltmaya yönelik adımlar atmasını zorunlu hale getirerek, karbon yoğun sektörlerde üretim yapan firmaların rekabet gücünü korumasını sağlamaktadır (Koç & Kaynak, 2023, s. 275).

SKDM'nin temel işleyişi, karbon salınımı yoğun olan sektörlerin AB'ye ihraç ettiği ürünlere karbon maliyeti eklemeyi öngörür. Bu maliyet, ithal edilen ürünlerin üretim süreçlerindeki karbon salınımı dikkate alınarak hesaplanır ve bu ürünlere uygulanan ek vergi ile dengelenir. Bu sayede, AB sınırları içinde üretilen ve karbon vergisi ödeyen ürünler ile ithal edilen ürünler arasında haksız rekabetin önüne geçilir (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 974). SKDM, bu yönüyle hem çevresel sürdürülebilirliği destekler hem de ticaretin daha adil ve dengeli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

SKDM, karbon kaçağını engellemeye yönelik bir önlem olarak da işlev görür. Karbon kaçağı, karbon vergisi gibi çevresel düzenlemelerden kaçmak amacıyla üretim faaliyetlerinin düzenlemelerin daha gevşek olduğu ülkelere kaydırılmasını ifade

etmektedir. Bu durum, hem çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine zarar verir hem de düzenleyici ülkelerin ekonomik çıkarlarını olumsuz etkiler. SKDM, bu riski minimize ederek, üretim süreçlerinde karbon salınımını azaltmayan firmaların rekabet gücünü azaltmayı ve çevresel yükümlülüklerle uyan firmaları ödüllendirmeyi amaçlar (Özsalman & Derindağ, 2023, s. 36).

Türkiye için SKDM'nin olası etkileri, özellikle AB'ye yapılan ihracatın önemli bir kısmını oluşturan demir-çelik, çimento, alüminyum gibi karbon yoğun sektörlerde kendini gösterecektir. 2022 yılı seviyesinde bir karbon fiyatı ile Türkiye'nin AB-27'ye yaptığı ihracatın karbon maliyetinin yaklaşık 3,3 milyar Euro olacağı tahmin edilmektedir (Koç & Kaynak, 2023, s. 283). Bu durum, Türkiye'nin karbon salınımını azaltma yönünde önemli adımlar atmasını zorunlu kılmakta ve bu süreçte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artırılması gerektiğini göstermektedir (Artun, 2024, s. 23).

SKDM'nin uygulanması, Türkiye'deki firmaların üretim süreçlerini yeniden gözden geçirmelerini ve daha sürdürülebilir üretim yöntemlerine geçmelerini gerektirebilmektedir. Bu durum, Türkiye'nin enerji politikalarında ve sanayi stratejilerinde köklü değişikliklere yol açabilecektir. Özellikle, enerji yoğun sektörlerde faaliyet gösteren firmaların yenilenebilir enerjiye geçiş süreçlerini hızlandırmaları ve karbon salınımlarını azaltmaları, SKDM'ye uyum sağlamak için kritik bir adım olacaktır (Artun, 2024, s. 29). Türkiye'nin karbon fiyatlandırma mekanizmaları geliştirmesi ve bu mekanizmaları küresel standartlarla uyumlu hale getirmesi, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu bakımdan, SKDM'nin Türkiye üzerindeki olası etkileri, ihracat sektöründe rekabet gücünü korumak için karbon salınımlarını azaltma yönünde ciddi bir baskı yaratacaktır. Türkiye'nin bu yeni düzenlemeye uyum sağlaması, çevresel politikaların yeniden şekillendirilmesi ve sürdürülebilir üretim süreçlerine geçişin hızlandırılması ile mümkün olacaktır. Bu süreçte, Türkiye'nin SKDM'ye uyum sağlaması, sadece AB ile olan ticari ilişkilerini değil, aynı zamanda küresel iklim hedeflerine katkıda bulunma açısından da stratejik bir öneme sahiptir.

Karbon vergilendirme sistemleri, iklim değişikliğiyle mücadelenin iktisadi ayağını oluşturarak, fosil yakıtlarda gömülü dışsallığı piyasa fiyatlarına dâhil etmeyi hedeflemektedir (Stern, 2023, s. 61). Bu araç, “kırleten öder” prensibini

kurumsallaştırmakta; karbon emisyonlarının toplumsal maliyetini görünür hâle getirerek üretici ve tüketici davranışlarını karbonsuz seçeneklere yönlendirmektedir (Jackson, 2009, s. 54). Ayrıca karbon vergisi, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği yatırımlarının görece kârlılığını artırmakta; ekolojik endüstri politikalarının finansmanına tahsis edilebilir bütçe gelirleri üretmektedir (World Bank, 2023, s. 32). Dolayısıyla karbon vergilendirme düzenlemeleri, emisyon azaltım hedefi ile maliye politikası eksenini aynı politika çerçevesine yerleştirmektedir (Kalkuhl vd., 2022, s. 45). Karbon fiyatlandırmasının ikinci amacı, piyasa sinyali yaratarak yenilik döngüsünü hızlandırmaktır; fiyatı olan bir karbon birimi, yatırım kararlarında risk öngörüsü yaratmakta ve düşük karbonlu teknolojilerin Ar-Ge marjını genişletmektedir (IEA, 2023, s. 57). Son olarak karbon vergileri, uluslararası rekabet koşullarında “karbon yoğun üretim” aleyhine toplumsal tercih maliyeti yaratmakta; karbon yoğun sektörlerin dönüşümünü kaçınılmaz kılmaktadır (Brunelin ve Santi, 2022, s. 36).

Karbon vergilendirme araçları, tasarım mantığına göre “saf karbon vergisi”, “akaryakıt vergisi genişletmesi”, “vergi artı indirim (revenue-neutral tax shift)” ve “hibrit vergi-piyasa” sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır (World Bank, 2023, s. 35). Saf karbon vergisi, İsveç’in 1991’de yürürlüğe giren modeli gibi, yakıt başına CO₂e içerik katsayısı üzerinden hesaplanmakta; vergiden elde edilen gelir genellikle genel bütçeye aktarılmaktadır (Andersson, 2019, s. 1481). Akaryakıt vergisi genişletmesi, Almanya’nın Enerji Vergisi Yasası örneğinde olduğu gibi mevcut yakıt tüketim vergisine karbon katsayısı ekleyerek fiyat sinyalini yükseltmektedir (Kalkuhl vd., 2022, s. 46). Gelir-tarafsız vergi kaydırması Kanada British Columbia modelinde görüldüğü üzere, karbon vergisi gelirini eş anlı olarak gelir vergisi indirimiyle nötralize ederek dağıtım etkilerini hafifletmektedir (Beck vd., 2015, s. 883). Hibrit sistemler ise Güney Afrika’daki yapı benzeri biçimde karbon vergisi ile emisyon ticaretine ilişkin düzenlemeleri art arda uygulayarak sektörel esneklik sunmaktadır (World Bank, 2023, s. 38).

Vergi oranı ve kapsama alanı, tasarımın çevresel etkinliğini belirlemektedir. İsveç’te 2025 itibarıyla ton başına 137 €/CO₂e düzeyine ulaşan vergi, emisyon yoğunluğunu 1990’a kıyasla %33 azaltmıştır (Andersson, 2019, s. 1488). Buna karşın Meksika’nın 2014’te uygulamaya koyduğu ortalama 3 \$/tCO₂e düzeyindeki vergi, sınırlı fiyat sinyali nedeniyle emisyon eğrisi üzerinde düşük etki yaratmaktadır (World Bank, 2023, s. 40). Tasarımın başarısı aynı zamanda muafiyet ve iade mekanizmalarındaki politik tercihlere

bağlıdır; örneğin Fransa’da Sarı Yelek protestoları verginin sosyal politika bileşenlerinin zaafını açığa çıkarmış, 2018 artışı ertelenmiştir (Stern, 2023, s. 62).

Emisyon ticaret sistemi (ETS), toplam emisyon üst sınırı belirleyerek yetkilendirilmiş birimler (tahsisatlar) ihraç etmekte; tesislerin bu birimleri piyasadan satın alması veya ücretsiz tahsisatlarla karşılaması zorunluluğu getirmektedir (IEA, 2023, s. 68). “Cap-and-trade” mekanizması fiyatı piyasada keşfedilen esnek bir karbon sinyali üretmektedir (IPCC, 2021, s. 50). Anahtar parametreler, üst sınır (cap) düzeyi, tahsisat yöntemi, kapsam eşiği ve uyum-yaptırım rejimidir (European Commission, 2019, s. 14).

Dünyada 2025 itibarıyla 30’dan fazla yargı alanında aktif ETS uygulaması mevcuttur; bunlar küresel emisyonların %17’sini fiyatlandırmaktadır (World Bank, 2023, s. 42). Bölgesel farklılıklar barizdir: Kaliforniya-Québec bağlantılı sistem, Kuzey Amerika’da fiyat bandını 32–40 \$/tCO₂e arasında tutarken, Çin ulusal ETS’si elektrik üretimiyle sınırlı ilk fazında fiyatı 8 \$/tCO₂e civarında oluşmaktadır (Zhang ve Zhang, 2023, s. 112). Güney Kore, 2015’te Asya’nın ilk ulusal ETS’sini başlatarak üç fazda sektör kapsamını genişletmekte, karbon fiyatını 15–25 \$/tCO₂e bandında tutmaktadır (Lee, 2022, s. 97). Bu örnekler, üst sınır sıkılığı ve piyasa likiditesinin karbon fiyat sinyalini belirlediğini göstermektedir (Brunelin ve Santi, 2022, s. 38).

ETS tasarımının avantajı, işletmelerin marjinal azaltım maliyeti farklılıklarını fiyat sinyaline dönüştürerek toplam toplumsal maliyeti minimize etmesidir (Stern, 2023, s. 63). Ancak mekanizmanın çevresel bütünlüğü, ücretsiz tahsisat oranı, denkleştirme kredisi (offset) kotaları ve fiyat istikrar tedbirlerindeki düzenleyici tercihlere hassas kalmaktadır (IEA, 2023, s. 70). Bu nedenle üst sınırın zaman içinde öngörülebilir biçimde daralması ve fiyat tavan-taban mekanizmaları, piyasa güvenilirliğini pekiştirmektedir (European Parliament & Council, 2023, s. 64).

Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (EU ETS), 2005’ten bu yana dünyanın en büyük bölgesel karbon piyasası olarak çalışmaktadır; kapsamı 10 400’den fazla sabit tesis ve tüm havacılık faaliyetlerini içererek AB emisyonlarının yaklaşık %41’ini fiyatlandırmaktadır (European Commission, 2019, s. 16). Dört fazdan geçen sistemin üst sınırı 2005–2020 arasında %43 aşağı çekilmiş, 4. fazda (2021–2030) lineer indirgeme faktörü %2,2’den %4,3’e yükseltilmiştir (European Commission, 2023, s. 12). Ücretsiz tahsisat, karbon kaçağı yüksek sektörlerde 2030’a dek kademeli azaltılmakta; 2028 itibarıyla çimento, demir-çelik ve gübre sektörlerinde %50’nin altına inecektir (European Parliament & Council, 2023, s. 66).

EU ETS'nin piyasa istikrar rezervi, tahsisat fazlasını absorbe ederek fiyat istikrarı sağlamaktadır; 2019'da aktive edilen mekanizma, 2022'ye dek 2,4 milyar tahsisatı rezervde tutarak fiyatı 90–100 €/tCO₂e bandına taşımıştır (Brunelin ve Santi, 2022, s. 40). Sistemin gelirleri 2021'de 32 milyar €'ya ulaşmış ve çoğu üye devlet tarafından yeşil yatırımlara yönlendirilmiştir (IEA, 2023, s. 73). Uyum rejimi, teslim eksikliği başına 100 €/tCO₂e ceza artı eksik birimin 1,3 katsayısıyla bir sonraki yıl teslimi zorunluluğu oluşturarak caydırıcılığı pekiştirmektedir (European Commission, 2019, s. 18).

EU ETS'in başarısı, piyasa derinliği ve uzun dönem fiyat beklentilerinin şeffaflığına dayanmaktadır; bu durum enerji dönüşümü maliyetlerinin finansmanını kolaylaştırmakta, yeşil tahvil ihracını teşvik etmektedir (Stern, 2023, s. 64). Bununla birlikte karbon kaçağı riski, serbest tahsisatın kademeli azalmasıyla birlikte yeniden önem kazanmaktadır; AB, bu riski SKDM yoluyla sınırda fiyat eşitlemesi yaparak yönetmektedir (European Parliament & Council, 2023, s. 68).

SKDM, ithal ürünlerin içerdiği karbon eşdeğeri için EU ETS'de oluşan karbon fiyatını sınırda tahsil ederek “fiyat uyumu” sağlamaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 70). 2023'te kabul edilen düzenleme, ilk aşamada çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, hidrojen ve elektrik sektörlerini kapsamaktadır (European Commission, 2023, s. 19). Geçiş dönemi 2023–2025 arasında yalnızca raporlama yükümlülüğü getirmekte; 2026'dan itibaren ithalatçılar, gömülü emisyonlarını AB metodolojisiyle beyan ederek her ton CO₂e için SKDM sertifikası satın almaktadır (Brunelin ve Santi, 2022, s. 42).

SKDM'nin temel amacı, karbon kaçağını önlemek ve AB sanayisinin yeşil dönüşüm maliyetlerini haksız rekabetten korumaktır (European Commission, 2019, s. 20). Mekanizma aynı zamanda üçüncü ülkelere güçlü bir yeşil teşvik sinyali göndererek küresel karbon fiyatlandırmasını yaygınlaştırmaktadır (World Bank, 2023, s. 44). Karbon yoğun ihracatta AB pazarına bağımlı ülkeler, ulusal ETS veya karbon vergisi uygulayarak eşdeğer fiyat içselleştirmesi sağarlarsa SKDM maliyetinden muaf tutulacaktır (European Parliament & Council, 2023, s. 72). Bu yönüyle SKDM, küresel karbon fiyat düzeni için “çekirdek-çevre senkronizasyonu” modeli oluşturmaktadır (Stern, 2023, s. 65).

1.2. Dijitalleşme Kavramı

Dijitalleşme, 21. yüzyılın en belirgin ve etkileyici olgularından biri olarak, toplumsal ve ekonomik yapıyı köklü bir şekilde değiştirmekte, bilgiye erişim, iletişim ve üretim süreçlerinde devrim niteliğinde yenilikler getirmektedir. Sanayi devrimi ile başlayan teknolojik dönüşüm süreci, dijitalleşme ile birlikte yeni bir boyuta ulaşmış ve bu durum, yaşamın her alanında derin etkiler yaratmıştır (Özçelik Baloğlu, 2023, s. 1192). Dijitalleşme kavramı, teknolojinin sunduğu imkânların toplumun her kesiminde yaygınlaşması ve günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi sürecini ifade etmektedir. Bu süreç, bireylerden kurumlara kadar geniş bir yelpazede etkili olmakta, dijital araçların kullanımı ile birlikte geleneksel yöntemlerin yerini modern, dijital odaklı yöntemlere bırakmaktadır.

Dijitalleşmenin bireysel düzeyde etkileri, sosyal ve kültürel boyutlarda önemli değişimlere neden olmuştur. Dijital ortamlar, bilgiye erişimi kolaylaştırırken, aynı zamanda etkileşim biçimlerini de yeniden tanımlamıştır. Bu yeni etkileşim biçimleri, bireylerin dijital ortamlarda var olma biçimlerini şekillendirirken, aynı zamanda dijital kimliklerin ortaya çıkmasına da yol açmıştır (Ada & Meder, 2022, s. 407). Dijitalleşme ile birlikte, geleneksel yüz yüze iletişim yöntemleri yerini çevrim içi iletişim araçlarına bırakmış ve bu durum, bireylerin benlik sunumlarında da önemli değişiklikler yaratmıştır. Erving Goffman'ın dramaturji yaklaşımı çerçevesinde, dijitalleşen benlik sunumlarının analizi, sosyal ağların bireyler üzerindeki etkilerini daha derinlemesine anlamamızı sağlamaktadır (Ada & Meder, 2022, s. 409).

Bununla birlikte, dijitalleşmenin toplumsal yapı üzerindeki etkileri, kamusal ve özel alan kavramlarının yeniden tanımlanmasına yol açmıştır. Dijitalleşme, kamusal alanın sınırlarını bulanıklaştırarak, dijital kamusal alanların oluşumuna zemin hazırlamıştır (Avcil, 2021, s. 87). Habermas ve Sennett gibi düşünürler, kamusal ve özel alanların dönüşümünü tartışırken, dijitalleşmenin bu dönüşüm üzerindeki rolünü vurgulamaktadırlar. Dijital kamusal alanlar, zaman, mekân ve birey algılarını dönüştürerek, geleneksel kamusal-özel alan ayrımını yeniden yorumlamaktadır (Avcil, 2021, s. 89). Bu yeni dijital kamusal alanlar, bireylerin toplumsal katılım biçimlerini değiştirerek, demokratik süreçlerde daha fazla etkileşim sağlamaktadır.

Dijitalleşme aynı zamanda ekonomik yapı üzerinde de derin etkiler yaratmıştır. Bilgi ve İletişim Teknolojileri'nin (BİT) gelişmesi, dijital ekonominin ortaya çıkmasına neden olmuş ve bu durum, geleneksel ekonomi kavramlarını yeniden değerlendirme ihtiyacı

doğurmuştur (Demirhan, 2020, s. 75). Dijitalleşme ile birlikte, mal ve hizmet sunumu hızla artmış, sanal ve reel ekonomiler arasındaki farklar daha belirgin hale gelmiştir. Dijital hizmetlerin vergilendirilmesi, küresel bir sorun olarak karşımıza çıkmakta ve bu durum, uluslararası düzeyde çözümler üretilmesini gerektirmektedir (Demirhan, 2020, s. 80). Türkiye’de dijital hizmet vergisi uygulamaları, bu küresel gelişmelerin bir yansıması olarak değerlendirilmektedir.

Dijitalleşmenin kurumsal boyutu da oldukça önemlidir. Kurumlar, dijitalleşme süreçlerine uyum sağlamak zorunda kalmakta ve bu durum, kurumsal dijital sorumluluk kavramını ortaya çıkarmaktadır (Acar, 2024, s. 500). Kurumsal dijital sorumluluk, dijitalleşmenin getirdiği fırsat ve tehditlerin dengeli bir şekilde yönetilmesini amaçlayan bir dizi süreçtir. Bu süreçler, kurumların dijitalleşme ile ortaya çıkan kayıpları minimize etmelerini ve dijital dönüşüm sürecinde sürdürülebilirliklerini sağlamalarını hedeflemektedir. Ancak yapılan çalışmalar, kurumsal dijital sorumluluk kavramının hala gelişme aşamasında olduğunu ve birçok firmanın bu konuda yeterli çalışmalar yapmadığını göstermektedir (Acar, 2024, s. 505).

Bireysel ve kurumsal düzeyde dijitalleşmenin etkileri oldukça karmaşık bir yapı sergilerken, bu süreçte ortaya çıkan etik sorunlar da dikkate değerdir. Dijitalleşmenin hızla yayılması, etik ilkelerin ve insan haysiyetinin korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Kuçuradi, 2021, s. 567). Dijital dünyada bilginin yayılımı ve kullanımı, etik sorumlulukların yeniden tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, insan haysiyeti kavramı, dijitalleşme sürecinde temel bir ilke olarak ele alınmakta ve dijital etik ile ilgili tartışmalarda merkezi bir rol oynamaktadır (Kuçuradi, 2021, s. 569).

Bu bakımdan, dijitalleşme, günümüz toplumlarının ekonomik, sosyal ve kültürel yapısını köklü bir şekilde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm süreci, bilgiye erişimden iletişim biçimlerine, ekonomik yapılarından etik ilkelere kadar geniş bir yelpazede etkili olmakta ve bu süreçte bireylerin, kurumların ve toplumların dijitalleşmeye uyum sağlaması gerekmektedir. Dijitalleşmenin olumlu etkilerinin yanı sıra, ortaya çıkan etik ve sosyal sorunlar da dikkatle ele alınmalı ve bu süreçte insan haysiyeti ve etik ilkeler ön planda tutulmalıdır. Dijitalleşmenin toplumsal ve kurumsal etkileri üzerine yapılan araştırmalar, bu süreçte karşılaşılan zorlukların ve fırsatların daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

1.3. Dijital Dönüşüm

Dijital dönüşüm, günümüzde toplumsal, ekonomik ve kültürel alanlarda köklü değişiklikler yaratan, hayatın her alanında kendini gösteren bir süreçtir. Bu süreç, bireylerin, kurumların ve toplumların dijital teknolojilerle etkileşim kurarak iş yapma biçimlerini, üretim ve tüketim alışkanlıklarını yeniden tanımlamasını gerektirmektedir. Dijital dönüşüm, sadece teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda toplumsal yapının ve insan davranışlarının evriminde de önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşme, bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla yayılmasıyla birlikte, bireylerin ve kurumların dijital araçları benimseyerek süreçleri optimize etmelerini, rekabet avantajı elde etmelerini ve sürdürülebilirliği sağlamalarını zorunlu kılmaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s. 18).

Yükseköğretimde dijital dönüşüm, eğitimin geleneksel yapısının dijital teknolojilerle harmanlanarak modernize edilmesini ifade etmektedir. Türkiye'de bu süreç, "Milli Teknoloji Hamlesi ve Dijital Türkiye" kapsamında gündeme gelmiş ve 2018 yılında başlatılan Yükseköğretimde Dijital Dönüşüm Projesi ile hayata geçirilmiştir (Sezgin & Karabacak, 2020, s. 19). Bu proje, dijital okuryazarlığın artırılması amacıyla, öncelikle pilot üniversitelerde uygulanmaya başlamış, daha sonra lisans öğrencilerine yönelik olarak dijital okuryazarlık dersleri müfredata eklenmiştir. Bu girişim, öğretim elemanlarının dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi ve öğrencilerin dijital becerilerinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Dijital dönüşüm, aynı zamanda toplumda eğitim ve bilgiye erişim konusundaki eşitsizlikleri azaltma potansiyeline sahiptir. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Sistemi, dijital dönüşüm sürecinde Türkiye'de toplumsal eğitim misyonunu sürdürmektedir. Bu sistem, geniş kitlelere ulaşarak bireylerin dijital teknolojiye erişimini kolaylaştırmakta ve kendi kendine öğrenme fırsatlarını artırmaktadır. Araştırmalar, Açıköğretim Sisteminin, öğrencilerin teknoloji kullanım becerilerini geliştirdiğini ve bu sayede dijital dönüşüme önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Fırat & Güney, 2020, s. 55).

Dijital dönüşüm süreci, yükseköğretim kurumlarında öğretim elemanlarının rollerini de yeniden şekillendirmiştir. Dijital teknolojilerin entegrasyonu ile birlikte, öğretim elemanlarının pedagojik yaklaşımları değişmiş, daha fazla etkileşimli ve teknoloji odaklı öğretim yöntemleri benimsenmiştir. Bu değişim, özellikle COVID-19 pandemisi sırasında hız kazanmış ve öğretim elemanlarının dijital becerilerini geliştirmeleri gerekliliğini ortaya koymuştur (Kır, 2020, s. 146). Dijitalleşmenin etkisiyle öğretim

elemanları, öğrenme ortamlarını zenginleştirme, eğitsel teknolojilerin kullanımını artırma ve öğrencilerin dijital yetkinliklerini geliştirme yönünde yeni roller üstlenmektedir.

Kamu sektöründe dijital dönüşüm, kamu hizmetlerinin sunulmasında etkinlik, verimlilik ve hızlilik gibi unsurları ön plana çıkarmaktadır. Türkiye'de kamu iç denetim faaliyetlerinin dijitalleşmesi, denetim süreçlerinin daha doğru, hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Dijital dönüşümün kamu yönetiminde siber güvenlik ve dijital güvence gibi yeni riskleri de beraberinde getirdiği göz önünde bulundurularak, iç denetim fonksiyonlarının bu risklere yönelik olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir (Akmeşe, 2020, s. 110).

Dijital dönüşüm sadece kamu sektörü ve eğitim alanıyla sınırlı kalmayıp, işletmelerin de iş yapma biçimlerini köklü bir şekilde değiştirmiştir. Dijital teknolojilerin işletmelere entegrasyonu, iş süreçlerinin optimize edilmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması ve rekabet avantajı elde edilmesi gibi faydalar sağlamaktadır. Ancak bu dönüşüm süreci, dijital liderlik gibi yeni yönetim yaklaşımlarını da zorunlu kılmaktadır. Dijital liderlik, işletmelerin dijital dönüşüm araçlarını stratejik bir şekilde benimseyerek, teknolojiyle iş süreçlerini ve insan faktörünü uyumlu hale getirmesini hedefleyen bir yaklaşımdır (Aksoy, 2024, s. 5). Bu liderlik tarzı, dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan zorlukların aşılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Dijital dönüşüm, aynı zamanda toplumsal yapı üzerinde de etkili olmuştur. Dijital vatandaşlık kavramı, bireylerin dijital ortamlarda haklarını kullanabilmeleri ve sorumluluklarını yerine getirebilmeleri açısından önemli bir kavramdır. Dijital vatandaşlık, dijital erişim, dijital ticaret, dijital iletişim, dijital okuryazarlık, dijital hak ve sorumluluklar gibi birçok boyutu içermektedir. Bu kavram, bireylerin dijital dünyada daha etkin ve bilinçli bir şekilde yer almasını sağlamaktadır (Akdağ & Şiraz, 2021, s. 82).

Bu bakımdan, dijital dönüşüm, toplumsal ve ekonomik yapıların köklü bir şekilde yeniden şekillendiği, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaşamın her alanında etkili olduğu bir süreçtir. Bu süreçte, bireylerin, kurumların ve toplumların dijital yetkinliklerini artırarak, dijital dönüşüme uyum sağlamaları gerekmektedir. Dijital dönüşümün getirdiği fırsatların yanı sıra, bu süreçte ortaya çıkan zorlukların da dikkatle ele alınması ve çözüm yollarının geliştirilmesi önemlidir. Dijitalleşmenin etkileri üzerine yapılan araştırmalar, bu sürecin daha iyi anlaşılmasına ve yönlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

1.3.1. Dijital Dönüşümün Tarihsel Gelişimi

Dijital dönüşüm, modern toplumsal yapının evrimiyle derin bir bağlantı kuran ve dijital teknolojilerin yaşamın her alanında etkili olduğu bir süreçtir. Bu süreç, köklerini 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanan bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişiminden alır ve bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte ivme kazanmıştır. Dijital dönüşümün tarihsel gelişimini anlamak için, bu sürecin başlangıcını, teknolojik yeniliklerin sosyal, ekonomik ve politik etkilerini ve bu etkilerin nasıl bir dönüşüm yarattığını incelemek önemlidir.

Dijitalleşme süreci, temelde sanayi devrimlerinin ortaya çıkardığı ekonomik ve toplumsal değişimlerin bir devamı olarak görülebilmektedir. Sanayi devrimlerinin getirdiği mekanik üretim süreçleri, daha sonraları elektrik ve motor teknolojilerinin gelişimiyle desteklenmiş, bu süreçlerin devamında ise dijital teknolojiler, üretimden yönetime, ekonomiden eğitime kadar pek çok alanda yeni bir paradigma yaratmıştır (Pfeiffer, 2021, s. 537). Karl Polanyi'nin *The Great Transformation* adlı eserinde ele aldığı "kendi kendini düzenleyen piyasa" kavramı, ekonomik faaliyetlerin insan toplumları ve doğa üzerindeki dönüştürücü etkilerini açıklamak için kritik bir referans noktası olmuştur. Dijitalleşme de benzer şekilde, kapitalist piyasa ekonomilerinin yapı taşlarını yeniden şekillendiren bir güç olarak ortaya çıkmıştır. Polanyi'nin analizine göre, piyasa güçleri toplumsal yapıyı ve doğayı dönüştürücü bir etkiye sahipken, devletler bu süreçleri düzenlemeye çalışmaktadır. Benzer bir biçimde, dijital dönüşüm de toplumu ve doğayı etkileyen dönüşümsel güçleri içerirken, hükümetler bu süreci yönlendirmek ve düzenlemek için yeni politikalar geliştirmektedir (Pfeiffer, 2021, s. 539).

Dijital dönüşümün tarihsel gelişimi, bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızlı ilerleyişi ile hızlanmıştır. Özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru, bilgisayar teknolojilerinin ve internetin yaygınlaşması, dijitalleşmenin temel yapı taşlarını oluşturmuştur. Bu gelişmeler, küresel çapta iletişimi kolaylaştırmış, bilgiye erişimi artırmış ve ekonomik faaliyetlerin dijital platformlara kaymasını sağlamıştır (Ivanova vd., 2023, s. 488). COVID-19 pandemisinin ortaya çıkışı, dijital dönüşüm sürecini daha da hızlandırmış ve bu süreçte işletmelerin dijital stratejilerini gözden geçirmelerine neden olmuştur. Pandemi, iş yapma biçimlerini köklü bir şekilde değiştirirken, dijital teknolojilerin önemini daha da artırmıştır. Pandemi sırasında, dijitalleşme stratejilerinin önemi bir kez

daha anlaşılmış, işletmeler dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırarak yeni dijital stratejiler geliştirmiştir (Ivanova vd., 2023, s. 490).

Dijital dönüşüm sürecinin tarihsel gelişimi, aynı zamanda hukuki ve sosyal yapıları da etkilemiştir. Rusya'da hukuki düzenlemelerin tarihsel gelişimi, dijital dönüşüm süreciyle birlikte yeni bir boyut kazanmıştır. Özellikle dijital teknolojilerin yasama süreçlerine entegrasyonu, hukuki düzenlemelerin dijitalleşmesine katkıda bulunmuştur (Alimova vd., 2020, s. 120). Bu süreç, dijital dönüşümün yalnızca ekonomik ve teknolojik bir dönüşüm olmadığını, aynı zamanda hukuki ve sosyal yapıların da yeniden şekillenmesine yol açtığını göstermektedir. Dijital dönüşüm, hukuki düzenlemeler açısından yeni normlar ve uygulamalar getirmiş, bu da dijitalleşmenin çok yönlü bir etki yarattığını ortaya koymuştur.

Dijital dönüşümün etkileri, sadece teknolojik ve ekonomik alanlarla sınırlı kalmamış, aynı zamanda kültürel ve psikolojik süreçlerde de kendini göstermiştir. Dijital teknolojilerin insan bilişsel süreçleri üzerindeki etkisi, özellikle dijital araçların ve teknolojilerin kullanımının artmasıyla birlikte önemli bir dönüşüm geçirmiştir (Falikman, 2020, s. 4). Kültürel-historik yaklaşıma dayalı araştırmalar, dijitalleşmenin insan bilişsel süreçleri üzerinde derin bir etkisi olduğunu ve bu süreçlerin dijital araçlar tarafından nasıl dönüştürüldüğünü göstermiştir. Bu da, dijital teknolojilerin toplumsal yapının tüm katmanlarına nüfuz ettiğini ve bu süreçlerin insani gelişim üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Dijital dönüşüm, aynı zamanda bilimsel araştırma ve bilgi üretim süreçlerinde de köklü değişiklikler yaratmıştır. Dijitalleşme, bilimsel araştırmaların daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımış, özellikle yüksek performanslı hesaplama altyapılarının geliştirilmesi bu sürece katkıda bulunmuştur (Zatsarinnyy, 2021, s. 60). Sovyet bilim insanlarının bu alandaki katkıları, dijitalleşmenin bilimsel araştırmalara olan etkisinin tarihsel bir arka planını sunmaktadır. Dijital teknolojilerin bilimsel araştırmalarda kullanımı, bilgi üretim süreçlerini hızlandırmış ve daha karmaşık analizlerin yapılmasına olanak tanımıştır.

Medyatizasyon yaklaşımı, dijital dönüşümün toplum üzerindeki etkilerini anlamada önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım, dijital medyanın toplumun her alanında nasıl bir dönüşüm yarattığını ve medyanın toplum üzerindeki etkilerini sistematik bir şekilde incelemektedir (Krotz, 2017, s. 105). Dijital medyanın yaygınlaşması, gündelik yaşamdan toplumsal kurumlara kadar geniş bir yelpazede dönüşümler yaratmıştır. Bu

dönüşümler, toplumsal yapıların yeniden şekillenmesine, iletişim biçimlerinin değişmesine ve kültürel normların yeniden tanımlanmasına yol açmıştır.

Bu bakımdan, dijital dönüşüm, tarihsel olarak bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimiyle başlayan, ancak günümüzde toplumsal, ekonomik, hukuki ve kültürel alanlarda köklü değişikliklere yol açan bir süreçtir. Bu süreç, toplumsal yapıyı yeniden şekillendirirken, bireylerin ve kurumların dijitalleşmeye uyum sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Dijital dönüşümün tarihsel gelişimi, bu sürecin çok yönlü etkilerini ve gelecekteki potansiyel dönüşümleri anlamada önemli bir temel sunmaktadır.

1.3.2. Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0

Endüstri 4.0, ilk kez Almanya'nın "High-Tech Strategy 2020" yol haritasında dile getirilmiş olup bilişsel siber-fiziksel sistemler aracılığıyla üretim süreçlerinin dijital platformlar üzerinde gerçek-zamanlı, kendi kendini optimize edebilir biçimde yeniden örgütlenmesini öngörmektedir; kavram, sanayi sermayesinin verimlilik sınırlarını genişletirken aynı anda kitleselleştirilmiş özelleştirme (mass customization) mantığını mümkün kılmaktadır (Kagermann vd., 2013, s. 17). Lojistik hatlardan makine parklarına, operasyon yönetim sistemlerinden tedarik zinciri arayüzlerine kadar tüm modüller, Nesnelerin İnterneti ve yapay zekâ tabanlı karar destek altyapıları ile ilintilendirilmektedir (Lasi vd., 2014, s. 4). Böylelikle üretim hatları, talep şoklarına anlık yanıt verebilen, stok bulundurma maliyetini minimize eden ve enerji-ham madde girdilerini sensörle beslenen veriye dayalı olarak optimize eden sürekli öğrenen organizmalara dönüşmektedir (Zhou vd., 2016, s. 396). Bununla birlikte 2010'lu yıllar boyunca Endüstri 4.0 uygulamalarının ölçeklenme performansı, veri güvenliği açıkları, birlikte çalışabilirlik standartlarının parçalı seyri ve nitelikli insan kaynağı açığı nedeniyle öngörülen potansiyelin altında kalmıştır; bu durum, sanayileşmiş ekonomileri "dördüncü endüstriyel devrimin" sosyo-teknik gerilimlerini yeniden düşünmeye zorlamaktadır (Schwab, 2017, s. 32).

Endüstri 5.0 kavramı, Avrupa Komisyonu'nun 2021 tarihli politika bildirgesiyle kurumsal bir kimlik kazanmaktadır ve geleneksel verimlilik/kar-maksimizasyon paradigmasını çevresel sürdürülebilirlik, insani merkezlilik ve dayanıklılık üçgenine yerleştirerek Endüstri 4.0'ın eksik bıraktığı toplumsal boyutu tamamlamayı hedeflemektedir (European Commission, 2021, s. 6). Bu yeni evrede, insansı robotlarla insan işçilerin yan yana çalıştığı iş istasyonlarında kolaboratif zekâ (cobotics) yaklaşımı

öne çıkmakta; yapay zekâ destekli karar destek sistemleri yalnızca üretim parametrelerini değil çalışan refah göstergelerini de içeren bütüncül metrikler ışığında süreci optimize etmektedir (Romero ve Stahre, 2021, s. 2). Böylelikle ergonomi, bilişsel yük ve psiko-sosyal güvenlik gibi insan faktörleri, makine verimliliğiyle eşit önemde tasarım değişkenlerine dönüşmektedir (Nahavandi, 2019, s. 26). Sürdürülebilirlik boyutunda ise döngüsel ekonomi ilkeleri, malzeme pasaportları ve karbon ayak izi hesaplayıcıları ile üretim döngüsüne entegre edilmekte; tedarik zincirleri blok-zincir temelli izlenebilirlik protokolleri aracılığıyla şeffaflaştırılmaktadır (Xu vd., 2018, s. 29). Böylece Endüstri 5.0, enerji yoğun süreçlerde yenilenebilir kaynakların önceliklendirilmesi, atık ısı geri kazanımı ve biyobazlı ham maddelerin standardizasyonu ile “insan-gezegen uyumlu üretim” idealini kurumsallaştırmaktadır (Demirkıran, 2024, s. 77).

Dijital dönüşüm perspektifinden Endüstri 4.0 ve 5.0’ın birlikte analiz edilmesi, teknolojik determinist yorumları aşarak sosyo-teknik sistem yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Endüstri 4.0’ın siber-fiziksel sistem mimarisi, bulut-sis (fog) bilişim katmanları arasındaki veri aktarım gecikmesini azaltırken, üretim hatlarının yatay-dikey entegrasyon kabiliyeti sayesinde tesis içi heterojen donanımın tekil dijital ikizler (digital twins) üzerinde modellenmesine imkân tanımaktadır (Zhou vd., 2016, s. 403). Endüstri 5.0 ise bu mimariyi hem yatayda çok paydaşlı inovasyon ekosistemlerine, hem dikeyde sürdürülebilir değer zincirlerine genişleterek “sosyo-ekolojik dijital ikizler” inşa etmektedir; böylelikle çevresel etkiler, çalışan sağlığı ve toplumsal değer üretimi, tıpkı enerji tüketimi veya arıza olasılığı gibi simülasyon parametrelerine dönüşmektedir (Romero ve Stahre, 2021, s. 5). Uygulamada bu, bir çelik fabrikasında karbon yakalama-kullanma-depolama (CCUS) ünitesinin optimum devreye alma zamanlamasını kâr maksimizasyonu ile karbon fiyat senaryolarının kesişiminde hesaplamak ya da bir otomotiv montaj hattında giyilebilir sensörlerle işçilerin kas-iskelet yükünü ölçerek robot hız parametresini gerçek zamanlı düzenlemek anlamına gelmektedir (Yıldız ve Köse, 2023, s. 91).

Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0’ın birlikte evrildiği dijital ekosistem, büyük veri analitiği, yapay zekâ, edge bilişim ve 6G haberleşme standartlarının konverjansıyla şekillenmektedir (Xu vd., 2018, s. 31). Veri mahremiyeti ve siber güvenlik riskleri, sıfır güven (zero trust) mimarileriyle ve kuantum-dayanıklı şifreleme algoritmalarıyla yönetilmektedir; aksi hâlde üretim şebekelerinin fidye yazılımı saldırıları veya tedarik

zinciri manipölasyonları karşısında durması, kritik altyapılarda domino etkili üretim kayıplarına yol açmaktadır (Nahavandi, 2019, s. 29). İnsani merkezlilik ilkesi ise yetkinlik yönetimi, yaşam boyu öğrenme ve kapsayıcı tasarım ilkeleriyle desteklenmektedir; örneğin artırılmış gerçeklik tabanlı iş başı eğitim modülleri, yaşlı işgücünün dijital yetkinlik açığını kapatmakta, engelli çalışanların ergonomik ihtiyaçları üretim istasyonu tasarımına entegre edilmektedir (Romero ve Stahre, 2021, s. 8). Böylelikle Endüstri 5.0, dijital dönüşümün toplumsal faydasını genişleterek sadece verimlilik artışı değil aynı zamanda toplumsal kapsayıcılık ve çevresel adaptasyon sağlamaktadır (European Commission, 2021, s. 10).

Gelecek projeksiyonları bağlamında Endüstri 5.0'ın olgunlaşması, düzenleyici çerçevelerin veri sahipliği, algoritmik şeffaflık ve yapay zekâ etiği boyutlarında netleşmesine bağlıdır; zira akıllı fabrikaların karar otomasyonunda meydana gelebilecek önyargı, ayrımcılık veya güvenlik zafiyetleri, kurumsal itibar kadar toplumsal rızayı da tehdit etmektedir (Schwab, 2017, s. 56). Aynı zamanda karbon nötr hedefleri, endüstriyel karbon muhasebesini FIFAS (Factory Integrated Footprint Accounting System) benzeri platformlara entegre ederek ürün bazlı çevresel beyanları zorunlu kılmaktadır; bu gereklilik, yeşil mutabakat uyum maliyetlerini minimize etmek için yapay zekâ-tabanlı eko-tasarım araçlarının yaygınlaştırılmasını tetiklemektedir (European Commission, 2021, s. 12). Sonuç olarak Endüstri 4.0, dijital altyapıyı tesis eden teknolojik temel iken Endüstri 5.0 bu temeli sosyal ve ekolojik sorumluluk katmanlarıyla genişleten yeni bir paradigma olarak vücut bulmaktadır; dijital dönüşümün geleceği, bu iki evre arasındaki sinerjiyi iyi yöneten ekonomilerin rekabet üstünlüğüne dönüşecektir (Demirkıran, 2024, s. 82).

1.3.3. Dijital Dönüşümün Önemi

Dijital dönüşüm, modern çağın en önemli dinamiklerinden biri olarak karşımıza çıkmakta ve bu dönüşüm, bireylerin, kurumların ve toplumların işleyişini köklü bir şekilde etkilemektedir. Dijitalleşme, sadece teknolojik bir gelişim değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik, kültürel ve politik alanlarda derin etkiler yaratan çok boyutlu bir süreçtir. Bu süreç, bilgiye erişimden iletişime, ekonomik faaliyetlerden kamu yönetimine kadar geniş bir yelpazede değişimlere yol açmakta, bu değişimler ise toplumların geleceğini şekillendirmektedir (Brusaporci & Maiezza, 2021, s. 2045).

Dijital dönüşümün önemi, bu sürecin yaratmış olduğu olanaklar ve zorluklar bağlamında ele alındığında daha da belirgin hale gelmektedir.

Dijitalleşmenin önemi, en temelde bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması ile başlar. Bu teknolojiler, toplumların bilgiye erişimini kolaylaştırmakta ve bu bilgiye dayalı olarak karar alma süreçlerini daha etkin hale getirmektedir. Dijital dönüşüm, özellikle eğitim ve bilimsel araştırma alanlarında yeni imkanlar sunarak, bilgi üretim süreçlerini hızlandırmış ve bilgiye dayalı inovasyonları desteklemiştir (Kostädt, 2022, s. 296). Bu bağlamda, dijitalleşme süreci, bilimsel bilgi üretiminde kullanılan yöntem ve tekniklerin gelişimine katkıda bulunmuş, bu da daha derinlemesine ve çok yönlü araştırmaların gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır.

Dijital dönüşümün bir diğer önemli boyutu, ekonomik faaliyetler üzerindeki etkisidir. Dijital teknolojilerin gelişimi, iş yapma biçimlerini radikal bir şekilde değiştirmiş, küresel ticaretin dinamiklerini yeniden şekillendirmiştir. Özellikle büyük veri, yapay zeka, blockchain ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler, iş süreçlerinin dijitalleşmesini ve bu süreçlerin verimliliğini artırmıştır (Alfaraz & Tully, 2024, s. 61). Bu teknolojiler, işletmelerin daha stratejik kararlar almasını, pazar taleplerine daha hızlı yanıt vermesini ve rekabet gücünü artırmasını sağlamaktadır. Dijital dönüşüm, aynı zamanda iş gücünün dijital becerilere olan ihtiyacını artırmış, bu da dijital yetkinliklerin iş piyasasında öncelikli hale gelmesine yol açmıştır.

Sosyal politika ve kamu yönetimi alanlarında da dijital dönüşümün etkileri belirgin bir şekilde hissedilmektedir. Dijitalleşme, devletlerin sosyal hizmet sunumunda daha etkin ve verimli yöntemler geliştirmesine olanak tanımış, vatandaş-devlet ilişkilerini güçlendirmiştir. Dijital platformlar aracılığıyla, kamu hizmetlerinin sunumu hızlanmış ve vatandaşların bu hizmetlere erişimi kolaylaşmıştır (Udovenko, 2023, s. 131). Ayrıca, dijital ekosistemlerin gelişimi, devletlerin vatandaşlarla daha yakın bir etkileşim içinde olmasını sağlamış, bu da sosyal politikaların daha duyarlı ve esnek bir şekilde uygulanmasını mümkün kılmıştır.

Kültürel mirasın korunması ve yönetimi açısından da dijital dönüşüm kritik bir rol oynamaktadır. Dijital teknolojiler, kültürel mirasın daha geniş kitlelere ulaştırılmasına, bu mirasın dijital platformlarda sergilenmesine ve korunmasına olanak tanımaktadır. Özellikle üç boyutlu modelleme ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler, kültürel mirasın daha etkin bir şekilde incelenmesine ve bu mirasın gelecek nesillere aktarılmasına katkıda bulunmaktadır (Kowalski vd., 2023, s. 889). Bu da, kültürel

değerlerin korunması ve bu değerlerin gelecek kuşaklara aktarılması açısından dijital dönüşümün ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Dijital dönüşüm, aynı zamanda vatandaşlık kavramını da yeniden şekillendirmektedir. Dijital vatandaşlık, bireylerin dijital dünyada aktif ve bilinçli bir şekilde yer almasını sağlayan bir kavram olarak öne çıkmaktadır. Dijital vatandaşlık, bireylerin dijital haklarını ve sorumluluklarını bilmesini, dijital güvenlik konularında bilinçli olmasını ve dijital platformlarda etik bir şekilde hareket etmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, dijital dönüşüm, demokratik katılımı artırmakta ve bireylerin dijital ortamda daha etkin bir şekilde yer almasını sağlamaktadır (de la Selva, 2020, s. 83).

Bu bakımdan, dijital dönüşüm, modern toplumların yapısını köklü bir şekilde değiştiren, bilgiye erişimden ekonomik faaliyetlere, kamu hizmetlerinden kültürel mirasın korunmasına kadar geniş bir alanda etkili olan bir süreçtir. Bu süreç, toplumsal yapının yeniden şekillenmesine katkıda bulunurken, bireylerin, kurumların ve devletlerin dijitalleşmeye uyum sağlamasını zorunlu kılmaktadır. Dijital dönüşümün önemi, bu sürecin toplumsal, ekonomik, kültürel ve politik alanlarda yarattığı değişimlerde ve bu değişimlerin gelecekteki potansiyel etkilerinde yatmaktadır.

1.3.4. Dijital Dönüşümün Etkileri

Dijital dönüşüm, günümüzün hızla değişen ve gelişen dünyasında, ekonomik, sosyal, kültürel ve politik alanlarda derin ve yaygın etkiler yaratan bir süreçtir. Bu dönüşüm, özellikle iş dünyasında, üretim süreçlerinden pazarlama stratejilerine kadar birçok alanda köklü değişimlere yol açmıştır. Dijitalleşmenin etkileri, yalnızca teknolojik ilerlemelerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda bireylerin günlük yaşamlarını, mesleklerini ve toplumsal yapılarını da yeniden şekillendirmektedir. Bu süreç, iş gücünden eğitim sistemlerine, kamu hizmetlerinden bireysel tüketim alışkanlıklarına kadar geniş bir yelpazede etkisini hissettirmektedir.

Öncelikle, dijital dönüşümün ekonomik etkilerini ele alacak olursak, bu süreç işletmelerin rekabet gücünü artırarak, verimliliklerini yükseltmekte ve inovasyon potansiyellerini genişletmektedir. Dijital teknolojilerin işletmelerde entegrasyonu, üretim süreçlerinin otomasyonu, veri analitiği ve yapay zeka gibi yenilikçi araçların kullanımıyla mümkün hale gelmiştir. Örneğin, dijital dönüşüm, tedarik zinciri yönetiminde önemli sinerji etkileri yaratarak, şirketlerin dijitalleşme seviyelerinin artırılmasını sağlamakta ve bu sayede tedarik zincirinin tüm bileşenleri arasında daha

etkin ve uyumlu bir işbirliği ortamı yaratmaktadır (Tian & Shi, 2024, s. 535). Bu da, tedarik zincirindeki verimliliğin artmasına ve maliyetlerin düşmesine katkıda bulunmaktadır.

Dijital dönüşümün iş gücü üzerindeki etkileri de oldukça belirgindir. Dijitalleşme süreci, iş gücünün dijital becerilere olan ihtiyacını artırmakta ve bu durum, geleneksel mesleklerin yerini yeni dijital yetkinlikler gerektiren mesleklerle doldurmaktadır. Sanayi 4.0 ve Toplum 5.0 kavramları, dijital dönüşümün iş dünyasına getirdiği yeni dinamikleri tanımlamakta, bu kavramlar altında, iş gücünün dijitalleşme süreci ile birlikte yeniden şekillendiği ve gelecekteki mesleklerin bu dönüşümle doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Çark, 2020, s. 20). Bu dönüşüm, iş gücü piyasasında dijital yetkinliklerin önemini artırmakta ve çalışanların bu yeni becerilere uyum sağlamalarını zorunlu kılmaktadır.

Dijital dönüşümün bir diğer önemli etkisi, muhasebe meslek mensupları üzerinde gözlemlenmektedir. Dijital teknolojilerin iş süreçlerine entegrasyonu, muhasebe mesleklerinde de köklü değişikliklere yol açmıştır. Özellikle, e-dönüşüm süreçleri ve dijital muhasebe yazılımları, muhasebe uygulamalarının daha hızlı, daha güvenilir ve daha şeffaf bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Karcıoğlu & Binici, 2021, s. 229). Bu da, muhasebe meslek mensuplarının iş yapma biçimlerini değiştirerek, onların dijital beceriler kazanmasını zorunlu kılmaktadır.

Dijital dönüşüm, pazarlama stratejilerini de köklü bir şekilde değiştirmiştir. Endüstri 4.0'ın etkisiyle birlikte, dijital pazarlama teknikleri ve stratejileri, geleneksel pazarlama yöntemlerinin yerini almış, bu alanda dijital platformların kullanımı yaygınlaşmıştır. Dijital pazarlama, büyük veri analitiği, sosyal medya yönetimi ve çevrimiçi reklamcılık gibi unsurlarla desteklenmekte, bu da pazarlama stratejilerinin daha hedef odaklı ve etkili olmasını sağlamaktadır (Sağtaş, 2021, s. 53). Dijitalleşme, işletmelerin müşterilerine ulaşma ve onların ihtiyaçlarına cevap verme biçimlerini köklü bir şekilde dönüştürmüştür.

Eğitim alanında da dijital dönüşümün etkileri oldukça belirgindir. Özellikle okul öncesi eğitim kurumlarında dijital teknolojilerin entegrasyonu, eğitim süreçlerini zenginleştirmiş ve öğrenme ortamlarını daha interaktif hale getirmiştir. Milli Eğitim Bakanlığı tarafından yürütülen dijital dönüşüm projeleri, okul öncesi eğitim kurumlarında önemli faydalar sağlamış, bu projeler sayesinde öğrencilerin dijital becerileri geliştirilmiş ve öğretim süreçleri daha verimli hale getirilmiştir (Akdeniz &

Akdeniz, 2024, s. 170). Dijitalleşme, eğitimde fırsat eşitliğini artırmakta ve öğrencilerin dijital dünyaya uyum sağlamalarına yardımcı olmaktadır.

Dijital dönüşümün medya sektörü üzerindeki etkileri de derinlemesine incelenmelidir. Geleneksel televizyon mecrası, dijital dönüşüm süreciyle birlikte önemli bir dönüşüm geçirmiş, internet tabanlı dijital içerik platformlarının yükselişi, televizyonun izleyici kitlesini kaybetmesine yol açmıştır. Dijital medya, televizyonun yerini alarak, daha interaktif ve kişiselleştirilmiş bir izleme deneyimi sunmakta, bu da izleyicilerin dijital platformlara olan ilgisini artırmaktadır (Kuyucu, 2021, s. 275). Bu dönüşüm, medya tüketim alışkanlıklarını köklü bir şekilde değiştirmiş ve dijital platformların medya endüstrisindeki hakimiyetini pekiştirmiştir.

Son olarak, dijital dönüşümün makroekonomik etkileri de dikkat çekicidir. Dijitalleşme süreci, ülkelerin ekonomik yapısını yeniden şekillendirmekte, dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, ekonomik büyüme hızlanmakta ve dijital ekonomi kavramı öne çıkmaktadır. Dijital dönüşüm, ekonomik faaliyetlerin dijital platformlar üzerinden gerçekleştirilmesini kolaylaştırmakta, bu da verimliliği artırarak, ekonomik büyümeye katkıda bulunmaktadır (Yılmaz & Özen, 2021, s. 185). Ancak, dijitalleşme sürecinin başarılı olabilmesi için, ülkelerin dijital altyapılarını güçlendirmeleri ve dijital yol haritalarını etkin bir şekilde uygulamaları gerekmektedir.

1.4. İkiz Dönüşüm

İkiz dönüşüm, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm süreçlerinin aynı anda gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir ve bu süreç, sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için önemli bir fırsat sunmaktadır. Dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı yoluyla ekonomik ve sosyal sistemlerin yeniden şekillendirilmesi sürecini ifade ederken, yeşil dönüşüm ise ekonomik ve sosyal sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine göre yeniden yapılandırılmasını amaçlamaktadır. Bu iki dönüşüm süreci, birbirini destekleyerek daha verimli, sürdürülebilir ve dayanıklı bir yapı oluşturmayı hedeflemektedir.

Dijital dönüşüm, modern ekonomilerin ve toplumların karşı karşıya olduğu birçok zorluğa yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin geniş çapta benimsenmesi, verimliliği artırmaya, yeni iş fırsatları yaratmaya ve genel yaşam kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilmektedir (Ünal & Toraman, 2023, s. 5). Özellikle otomotiv endüstrisi gibi rekabetin yüksek olduğu

sektörlerde, dijital dönüşüm süreci büyük önem arz etmekte ve dijital ikiz teknolojisi gibi yenilikçi yaklaşımlar, maliyetleri düşürmede ve operasyonel verimliliği artırmada kilit rol oynamaktadır (Bengü & Fidancan, 2021, s. 207).

Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın dijital bir kopyasının oluşturulması ve bu kopyanın gerçek zamanlı verilerle güncellenmesi sürecidir. Bu teknoloji, üretim süreçlerinin optimizasyonundan bakım ve onarım süreçlerinin öngörülebilirliğine kadar birçok alanda kullanılmakta olup, işletmelere önemli maliyet avantajları sağlamaktadır (Yiğit & Uysal, 2023, s. 320). Tedarik zincirlerinde de dijital ikiz teknolojisinin kullanımı, süreçlerin daha verimli yönetilmesine olanak tanımakta ve lojistik süreçlerde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır (Avşar, 2021, s. 232). Bu bağlamda, dijital ikiz teknolojisinin yaygınlaşması, dijital dönüşüm sürecinin önemli bir bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öte yandan, yeşil dönüşüm, çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine dayanan bir dönüşüm süreci olup, iklim değişikliğiyle mücadele, çevre kirliliğini azaltma ve doğal kaynakları koruma hedeflerini içermektedir. Bu süreç, ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlamakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin benimsenmesi gibi uygulamalarla desteklenmektedir (Türk, 2023, s. 89). Yeşil dönüşüm, sadece çevresel etkilerin azaltılmasıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sosyal sürdürülebilirliği de desteklemekte, toplumsal eşitsizliklerin azaltılmasına ve daha adil bir ekonomik düzenin kurulmasına katkıda bulunmaktadır.

İkiz dönüşüm süreci, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegrasyonunu hedeflemektedir. Bu entegrasyon, sürdürülebilir bir kalkınma modeli oluşturmak için kritik öneme sahiptir. Dijital teknolojilerin çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle birleştirilmesi, işletmelerin ve toplumların iklim değişikliği gibi küresel sorunlarla başa çıkabilme kapasitesini artırmaktadır. Örneğin, dijital ikiz teknolojisi, enerji verimliliğini artırmak ve karbon ayak izini azaltmak amacıyla kullanılabilmekte ve bu sayede hem dijital hem de yeşil dönüşüm hedeflerine eş zamanlı olarak ulaşılabilir (Çalış Duman, 2022, s. 191).

Organize sanayi bölgelerinde ikiz dönüşüm süreçlerinin uygulanması, bu dönüşümün somut bir örneğini teşkil etmektedir. Sanayi bölgelerinde dijital ve yeşil dönüşüm uygulamaları, endüstriyel süreçlerin daha sürdürülebilir ve verimli hale getirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu dönüşüm süreci, sanayi bölgelerinin rekabet gücünü

artırmakta ve çevresel etkilerini minimize etmektedir (Zencirli, 2024, s. 23). Bu bağlamda, ikiz dönüşüm kavramı, yalnızca teknolojik bir ilerleme olarak değil, aynı zamanda toplumsal bir dönüşüm aracı olarak da değerlendirilmektedir.

Dijital ikiz teknolojisi, ikiz dönüşüm sürecinin önemli bir bileşeni olarak, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik verimlilik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknoloji, fiziksel varlıkların dijital kopyalarını oluşturarak, üretim süreçlerini optimize etmeye ve çevresel etkileri azaltmaya yardımcı olmaktadır. Özellikle, ürün yaşam döngüsü optimizasyonu, atık azaltımı ve enerji verimliliği gibi sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmakta, bu sayede hem dijital hem de yeşil dönüşüm süreçlerine hizmet etmektedir (Göçen, 2020, s. 160).

Bu bakımdan, ikiz dönüşüm, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegrasyonu yoluyla, sürdürülebilir bir geleceğin inşası için büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu süreç, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırmakta ve toplumsal yapıların daha dayanıklı ve esnek hale getirilmesine katkıda bulunmaktadır. İkiz dönüşümün başarılı bir şekilde uygulanması, gelecek nesiller için daha yaşanabilir bir dünya yaratma yolunda atılacak önemli bir adım olacaktır.

1.4.1. İkiz Dönüşümün Amacı ve Önemi

İkiz dönüşüm, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm süreçlerinin eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesiyle hem ekonomik büyümeyi hızlandırmayı hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlayan kapsamlı bir stratejik yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreç, iki temel dönüşümün birleşimi yoluyla toplumsal ve ekonomik sistemlerin daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hale getirilmesini hedefler. Dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla ekonomik sistemlerin yeniden yapılandırılmasını sağlarken, yeşil dönüşüm ise bu süreçte çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutarak doğal kaynakların korunmasına ve çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik politikaları içermektedir.

Dijital dönüşümün temel amacı, verimliliği artırmak, ekonomik büyümeyi hızlandırmak ve rekabet gücünü artırmaktır. Bu dönüşüm, sanayiden hizmet sektörüne kadar birçok alanda yenilikçi iş modellerinin ve teknolojilerin benimsenmesiyle, işletmelerin operasyonel verimliliğini artırarak daha hızlı ve etkili karar alma süreçlerine olanak tanır (Rupeika-Apoga vd., 2022, s. 670). Dijital teknolojiler, işletmelerin pazar gereksinimlerine daha hızlı yanıt vermesini, kaynak kullanımını optimize etmesini ve

müşteri deneyimini iyileştirmesini sağlamaktadır. Özellikle Endüstri 4.0 ile entegre edilen dijital ikiz teknolojisi gibi yenilikçi araçlar, üretim süreçlerinde gerçek zamanlı verilerin toplanmasını ve analiz edilmesini mümkün kılarak, süreçlerin optimize edilmesine ve maliyetlerin düşürülmesine katkıda bulunur (Çalış Duman, 2022, s. 192).

Yeşil dönüşüm ise çevresel sürdürülebilirliği önceliklendirerek, karbon emisyonlarının azaltılması, doğal kaynakların verimli kullanılması ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi gibi hedeflere odaklanır. Bu süreç, iklim değişikliğiyle mücadele için hayati öneme sahiptir ve uzun vadede ekonomik faaliyetlerin doğaya olan olumsuz etkilerini minimize etmeyi amaçlar (Zhao & Fang, 2023, s. 6). Yeşil dönüşüm, aynı zamanda ekonomik sistemlerin çevresel sürdürülebilirliğe göre yeniden şekillendirilmesini ve daha yeşil bir geleceğin inşasını sağlamaktadır. Bu dönüşüm süreci, özellikle enerji sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi ve enerji verimliliği gibi uygulamaların benimsenmesini teşvik etmektedir (Liu & Song, 2023, s. 3).

İkiz dönüşümün en önemli amaçlarından biri, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerini entegre ederek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaktır. Dijital teknolojiler, yeşil dönüşüm sürecinde kritik bir rol oynar ve bu teknolojilerin doğru bir şekilde entegre edilmesi, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırır. Örneğin, dijital dönüşüm, yeşil inovasyon performansını artırarak, düşük karbonlu ve çevre dostu üretim süreçlerinin benimsenmesini sağlamaktadır (Zhong vd., 2023, s. 10). Dijital dönüşümün sağladığı bilgi ve veri yönetimi olanakları, çevresel etkilerin daha etkin bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini mümkün kılar (Wang vd., 2024, s. 4).

İkiz dönüşüm, aynı zamanda ekonomik ve çevresel sistemler arasında bir denge kurmayı amaçlar. Bu süreç, ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasındaki dengeyi gözeterek, uzun vadeli sürdürülebilir kalkınmayı hedefler. Dijital dönüşümün sunduğu olanaklar, çevresel yönetim sistemlerinin daha etkili hale getirilmesine katkıda bulunur ve yeşil teknoloji inovasyonlarının geliştirilmesini teşvik etmektedir (Li & Lin, 2024, s. 5). Bu sayede, işletmeler hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda daha donanımlı hale gelirler.

Bu bakımdan, ikiz dönüşüm süreci, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin birbirini tamamlayıcı bir şekilde entegre edilmesi yoluyla, ekonomik büyümeyi sürdürülebilir kılmayı ve çevresel etkileri minimize etmeyi amaçlar. Bu süreç, işletmelerin ve toplumların daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlayarak, geleceğin

yeşil ekonomisinin temellerini atmaktadır. İkiz dönüşüm, sadece bir ekonomik strateji değil, aynı zamanda toplumsal bir dönüşüm süreci olarak da değerlendirilmelidir. Bu süreç, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlama yolunda önemli bir adım olarak görülmektedir.

İkiz dönüşüm, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin aynı anda gerçekleştirilmesi olarak tanımlanır ve modern çağın en önemli stratejik yaklaşımlarından biri olarak kabul edilir. Bu süreç, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için kritik bir araçtır. Dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) geniş çapta entegrasyonu yoluyla ekonomik faaliyetlerin yeniden yapılandırılmasını hedeflerken, yeşil dönüşüm ise bu süreçte çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlar. İkiz dönüşümün önemi, bu iki dönüşümün birbiriyle uyum içinde gerçekleştirilmesiyle hem ekonomik büyüme hem de çevresel koruma hedeflerine eş zamanlı olarak ulaşılmasında yatar.

Dijital dönüşüm, işletmelerin operasyonel verimliliğini artırarak ve yeni iş modellerini benimseyerek rekabet gücünü artırmalarını sağlamaktadır. Bu süreç, veri analitiği, yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojilerin entegrasyonu ile üretim ve hizmet sektörlerinde yenilikçi uygulamaların hayata geçirilmesine olanak tanır (Zhong vd., 2023, s. 25). Dijital dönüşümün bir diğer önemli bileşeni, işletmelerin kaynakları daha verimli kullanmalarını ve çevresel etkilerini minimize etmelerini sağlamasıdır. Örneğin, dijital ikiz teknolojisi, gerçek dünyadaki süreçlerin dijital kopyalarının oluşturulmasına olanak tanıyarak, bu süreçlerin optimize edilmesini ve enerji verimliliğinin artırılmasını mümkün kılar (Erturan & Ergin, 2018, s. 815). Bu teknolojik yenilikler, hem maliyetlerin düşürülmesine hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

Yeşil dönüşüm, iklim değişikliğiyle mücadelede ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik bir rol oynar. Bu süreç, karbon emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi gibi stratejileri içermektedir (Wang vd., 2024, s. 6). Yeşil dönüşüm, aynı zamanda doğal kaynakların korunmasını ve çevre kirliliğinin azaltılmasını hedefler. Dijital dönüşüm ile entegre edildiğinde, yeşil dönüşümün etkileri daha da güçlenir; bu sayede, çevresel yönetim sistemleri daha etkin bir şekilde uygulanabilmektedir ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılabilir (Ran vd., 2023, s. 99).

İkiz dönüşümün önemi, ekonomik ve çevresel hedeflerin uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesiyle ortaya çıkar. Dijital dönüşüm, işletmelerin daha sürdürülebilir üretim süreçlerini benimsemesine olanak tanırken, yeşil dönüşüm bu süreçlerin çevresel etkilerini en aza indirir. Örneğin, dijital dönüşümün sağladığı bilgi yönetimi ve veri analitiği yetenekleri, çevresel etkilerin izlenmesini ve yönetilmesini kolaylaştırır, bu da yeşil dönüşüm süreçlerinin daha etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır (Zhao & Fang, 2023, s. 4). Ayrıca, dijital dönüşüm, yeşil inovasyonun teşvik edilmesine katkıda bulunarak, çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını sağlamaktadır (Hou vd., 2023, s. 101588).

İkiz dönüşüm süreci, sadece ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda toplumsal refahı da artırır. Bu süreç, yeni iş fırsatlarının yaratılmasını, yaşam kalitesinin iyileştirilmesini ve ekonomik büyümenin sürdürülebilir bir şekilde devam etmesini sağlamaktadır. Dijital dönüşümün sunduğu teknolojik yenilikler, eğitim, sağlık, ulaşım gibi birçok alanda yaşam kalitesini artıracak çözümler sağlamaktadır (Wang vd., 2024, s. 7). Yeşil dönüşüm ise bu süreçte çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutarak, gelecek nesiller için daha sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya inşa etmeye katkıda bulunur.

Bu bakımdan, ikiz dönüşüm, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegre edilmesiyle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için kritik bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu süreç, hem ekonomik büyüme hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır ve geleceğin yeşil ekonomisinin temellerini atar. İkiz dönüşümün başarısı, hem dijital hem de yeşil dönüşüm süreçlerinin uyum içinde ve etkin bir şekilde uygulanmasına bağlıdır.

1.5. İkiz Dönüşüme Yönelik Eleştiriler

İkiz dönüşüm kavramı, dijitalleşme ve yeşil politikaları aynı anda ilerletmek suretiyle verimlilik, rekabet gücü ve karbon nötrlüğü vaat etmektedir; ancak bu çifte iddia, toplumsal, çevresel ve politik açılardan yoğun bir eleştirel inceleme gerektirmektedir. Öncelikle, ikiz dönüşümün sunduğu “kazan-kazan” anlatısının ardında dijital altyapıların enerji yoğunluğu ve hammadde talebi gerçeği bulunmaktadır. Yüksek performanslı bilgi işlem merkezleri, 5G/6G baz istasyonları ve yapay zekâ kümeleri, küresel elektrik tüketiminde hızla artan paya sahiptir (Holopainen vd., 2024, s. 1781). Bu altyapılar yenilenebilir enerjiyle desteklenmediğinde, ortaya çıkan “karbon borcu”

yeşil dönüşüm iddiasını gölgelemektedir (Hou vd., 2023, s. 101590). Balta-Crane paradoksu olarak adlandırılan bu durum, dijital çözümler aracılığıyla karbon tasarrufu sağlarken aynı anda yeni emisyon cepheleri açıldığına işaret etmektedir (OECD, 2023, s. 39).

Eleştirilerin bir diğer eksenini, dijital bölünmenin derinleşmesidir. İleri dijital altyapılara erişimi olmayan bölgeler, ikiz dönüşüm yatırımlarından dışlanmakta; bu durum, zaten marjinalleşmiş toplulukların hem yeşil hibe ve kredilere hem de yüksek katma değerli istihdama erişimini kısıtlamaktadır (Veugelers vd., 2023, s. 58). Türkiye özelinde firmaların yalnızca %14'ü yapay zekâ tabanlı verimlilik araçları kullanırken, büyük ölçekli firmalarda bu oran %46'ya yükselmektedir (Yurgiden & Erdoğan, 2024, s. 133). Dijital eşitsizlik, yeşil finansman araçlarının *veri şeffaflığı* koşullarına bağlanmasıyla pekişmekte, finansal kaynak transferini coğrafi ve sektörel olarak kutuplaştırmaktadır (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 974).

Bu bölünme aynı zamanda emek piyasasında ikili yapı yaratmaktadır. Yüksek beceri gerektiren dijital-yeşil işlerde ücretler artarken, otomasyon baskısı altındaki mavi yaka işçiler iş güvencesi ve sendikal koruma kaybı yaşamaktadır (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s. 25). Çevrim içi platform ekonomisinin yayılması, esnek ama güvencesiz çalışma biçimlerini kurumsallaştırmakta ve “gig-yeşil” iş fikri üzerinden sürdürülebilirlik projelerini *prekarite* ile kurgulamaktadır (Uysal, 2023, s. 150). Neoliberal yönetim eleştirileri, ikiz dönüşüm söyleminin kamu hizmetlerini özelleştiren, sosyal devleti daraltan ve riskleri bireyselleştiren bir çerçeveye birleştiğini savunmaktadır (Pfeiffer, 2021, s. 538).

Dijital ikiz, blok zinciri ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler, tedarik zinciri şeffaflığını arttırdığı ölçüde gözetim kapitalizmi tartışmalarını körüklemektedir (Krotz, 2017, s. 105). Kurumsal aktörler, sürdürülebilirlik ölçütlerini toplamak amacıyla iş gücü, tedarikçi ve tüketici davranışlarını mikroseviyede izlemekte; veri mülkiyetinin asimetrik dağılımı, hem rekabet hem de bireysel mahremiyet açısından yapısal eşitsizlik üretmektedir (Alfaraz & Tully, 2024, s. 4). Algoritmik karar verme, karbon kredisi tahsisi veya yeşil kredi skorlama süreçlerinde görünmez önyargılar barındırmakta; böylece yeşil finans manivelası, eleştirel çevre adaleti literatürünün “dijital ırkçılık” olarak kavramlaştırdığı yeni eşitsizlik biçimlerini doğurmaktadır (Yáñez Serrano vd., 2024, s. 8).

Yeşil finans ürünlerinin (yeşil tahvil, yeşil sukuk) şeffaflık kriterleri, dijital raporlama standartlarına dayalı olarak şekillense de, *yeşil badana (greenwashing)* riski tam anlamıyla ortadan kalkmamaktadır. Şirketler, emisyon düşüşünü bağlam dışı göstergelerle pazarlamakta; finansal aracılar ise karbonsuzlaşma projeksiyonlarını sertifika sağlayıcılarla müzakere ederek “sözde dönüşüm” stratejileri geliştirmektedir (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 348). Dijital ikizler sayesinde üretilen hiperdetaylı veri katmanları, kamu denetimi yetersiz kaldığında sayısal sis işlevi görerek gerçek emisyonları perdeleme tehlikesi taşımaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1786).

Eleştirel politik ekonomi yaklaşımı, ikiz dönüşüm stratejilerindeki küresel değer zinciri hiyerarşilerini deşifre etmektedir. Lityum, kobalt, nadir toprak elementleri gibi kritik madenler, dijital donanımın ve yeşil enerjinin temel bileşenleridir; bu madenlerin çoğu, işçi haklarının zayıf ve çevresel düzenlemelerin gevşek olduğu bölge ve ülkelerden temin edilmektedir (Ran vd., 2023, s. 104). Dolayısıyla merkezin düşük karbonlu büyümesi, çevre ekonomisi literatüründe “kirli üretimin coğrafi aktarımı” diye anılan bir dışsallaştırma pratiği yaratmaktadır (Doğan, 2022, s. 63).

Kaynak adaleti bağlamındaki bir başka tartışma, veri merkezleri ve batarya fabrikaları gibi dijital-yeşil tesislerin yoğun su ve arazi tüketimidir. Batarya üretiminin gerektirdiği kimyasal çözeltiler ile veri merkezlerinin soğutma sistemleri, su stressi yaşayan bölgelerde kıtlığı derinleştirmektedir (Artun, 2024, s. 41). *Teknolojik yıkım* (techno-wrecking) terimini kullanan eleştiriler, yenilikçi çözümlerin eski sorunları daha karmaşık biçimlerde yeniden ürettiğini ileri sürmektedir (Bengü & Fidancan, 2021, s. 209).

Öte yandan, ikiz dönüşümün enerji geri tepme (rebound) etkisi büyüme paradigması ile çatışmaktadır. Verimlilik kazançları, üretim hacminde genişleme veya tüketimde artış olarak geri döndüğünde net karbon tasarrufu beklentisi boşa düşmektedir (Li & Lin, 2024, s. 1867). Dijital hizmetlerin kolay erişilebilir hâle gelmesi, tüketimi teşvik ederek toplam enerji talebini yükseltebilmektedir (Yılmaz & Özen, 2021, s. 188). Bu noktada “yeşil dijitalleşme” söylemi, ekolojist düşünürlerin “büyüme sınırları” argümanı ile çatışmakta; degrowth savunucuları, dijital-yeşil verimliliğin yerine *düşük maddi yoğunluklu* yaşam formlarını önermektedir (Kuloğlu & Öncel, 2015, s. 6).

Eleştirel kuramcılar, ikiz dönüşümün teknokratik yönetim modelini de sorgulamaktadır. Politika paketlerinde sıkça karşılaşılan “uzman veri analizine dayalı kanıt-temelli karar” vurgusu, demokratik katılım kanallarını daraltarak teknik

seçkinlerle halk arasındaki mesafeyi büyötmektedir (Avcil, 2021, s. 87). AB'nin Fit for 55 paketi üzerine yürütölen analizlerde, karbon fiyatı hesaplamalarının ve taksonomi kriterlerinin çok katmanlı algoritmalarla belirlendiği; bu durumun sivil toplumun eş zamanlı denetimini zorlaştırdığı saptanmaktadır (Yurgiden & Erdoğdu, 2024, s. 137). Sayısal teknik jargon, politika tartışmasını uzman alanına hapsederek karar alma süreçlerinde meşruiyet sorunları yaratmaktadır (Kadtoğlu & Binici, 2021, s. 228).

İkiz dönüşüm ayrıca kültürel homojenleşme eleştirilerine maruz kalmaktadır. Dijital platform ekosistemleri, küresel standart paketlerinin (bulut hizmetleri, yazılım lisansları, veri güvenlik protokolleri) yerel bilgi sistemlerine nüfuz etmesiyle kültürel üretimi tek tipleştirmektedir (Komninos, 2016, s. 247). Yeşil marka girişimleri, sürdürülebilir yaşam pratiklerini küresel tüketim kültürünün pazarlama stratejileriyle iç içe geçirerek “eko-metalaşma” riskini artırmaktadır (Göksel & Yanmaz, 2011, s. 3). Böylece ikiz dönüşüm, ekolojik sorumluluk diskurunu *yaşam tarzı tüketimi* eksenine kaydırmakta; yapısal değişim yerine bireysel satın alma tercihlerine vurgu yapmaktadır (Özgüven Tayfun & Ölçü, 2016, s. 191).

Eleştirilerin bir alt kolu, siber güvenlik ve ulusal egemenlik kaygılarıdır. Dijital altyapılara bağlı yeşil şebekeler (akıllı şebeke, dijital pasaport, karbon ticaret blok zinciri) siber saldırılara açılmakta; enerji arz güvenliği, veri bütönlüğü ve kritik altyapı emniyeti yeni tehdit rejimleri altına girmektedir (Akmeşe, 2020, s. 112). Özellikle küçük ve orta ölçekli ölkeler, küresel teknoloji firmalarına bağımlı yazılım çözümleri nedeniyle “dijital sömürgecilik” diskurunu gündeme getirmektedir (Ivanova vd., 2023, s. 490). Enerji dönüşümünün dijital ana omurgası, sınır aşan veri trafiğini artırdıkça ulusal yargı yetkisi tartışmaları büyömekte, çok aktörlü yönetim yapıları net bir yetki tahsisi yaratamamaktadır (Li vd., 2023, s. 5).

E-atık yönetimi de ikiz dönüşüm bağlamında kritik bir sorun alanı olarak öne çıkmaktadır. Yeşil teknolojilerin kullanım ömrünü tamamlamasıyla ortaya çıkan elektronik atık yığınları, döngüsel ekonomi ilkelerine rağmen ağırlıklı olarak düşük gelirli ölkelere ihraç edilmekte; bu bölgelerde çevre ve halk sağlığı risklerini artırmaktadır (İpekçi & Köse, 2021, s. 1013). Dijital ikiz, sensör ve batarya bileşenlerinin geri dönüşüm oranları hâlen düşüktür; yenilenebilir enerji panellerinin silikon, gümüş ve cam geri kazanım süreçleri ekonomik ölçekten uzaktır (Balbay vd., 2021, s. 564). Bu gerçeklik, ikiz dönüşümün “sıfır atık” iddiasını teknik ve ekonomik bariyerler sebebiyle zayıflatmaktadır (Yaş, 2022, s. 86).

Ekokritik çalışmalar, ikiz dönüşümde kullanılan çevre göstergelerinin salt karbon metriğine indirgenmesini de sorunlu bulmaktadır. Biyolojik çeşitlilik, toprak bozulması ve su kullanımı gibi çok boyutlu ekolojik göstergeler karbon eşdeğerine çevrildiğinde, özgül ekosistem hasarları politika radarından düşmektedir (Doğan, 2022, s. 67). Dijital ölçüm ve raporlama sistemleri tek parametreliliği kolaylaştırdığı için, politikaların “LEGO rasyonalite” olarak eleştirilen modüler bir endeks mantığına indirgenmesine yol açmaktadır (Sapmaz Veral, 2021, s. 10).

Eleştirilerin normatif boyutu ise ikiz dönüşümün post-demokratikleşme riskine odaklanmaktadır. Büyüyen veri setleri ve algoritmalar üzerine inşa edilen politika tasarımı, halkın katılım kanallarını veri üretimine indirgemekte; yurttaşlar lüzumlu girdileri sağlayan pasif sensörlere dönüşmektedir (Kuçuradi, 2021, s. 565). Bu koşul, çevresel karar alma süreçlerinde yerel bilgiyi teknik modellerin gerisine itmekte; dijital mecralarda göze çarpan “yeşil etkileşim” göstergelerini demokratik meşruiyet kanıtı olarak sunmaktadır (Avcil, 2021, s. 92).

Son olarak, çifte standart eleştirileri gündemdedir. Gelişmiş ekonomiler, sürdürülebilirlik sertifikasyonunu ithal ürünler için zorunlu kılmakta; fakat kendi firmalarının dış kaynaklı karbon emisyonlarını kapsam dışı bırakacak muhasebe yöntemleri geliştirmektedir (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 978). “Karbon sızıntısı” tartışmaları, sınır ötesi yeşil vergi politikalarının gelişmekte olan ülkelerin dış ticaretine yapacağı olumsuz etkilere işaret etmektedir (Artun, 2024, s. 44). Dijital sertifikasyon süreçlerinin maliyeti, düşük gelirli üreticilerin piyasa giriş bariyerini yükselterek rekabet eşitsizliği yaratmaktadır (Yasin Yiğit & Uysal, 2023, s. 322).

Bütün bu eleştirel noktalar, ikiz dönüşümün yalnızca teknolojik bir entegrasyon meselesi olmadığını; adalet, katılım, toplumsal cinsiyet, emek hakları ve ekosistem bütünlüğü gibi kesişen boyutlarda çok katmanlı bir dönüşüm ihtiyacı doğurduğunu göstermektedir. İkiz dönüşümün savunucuları için, karbonsuzlaşma ile dijitalleşmeyi eşzamanlı ilerletmek kadar; enerji kaynağı gözetimi, hammadde zinciri şeffaflığı, veri adaleti ve sosyal diyalog mekanizmalarını da bütüncül bir yönetim çerçevesine entegre etmek kaçınılmazdır. Ancak bu şekilde ikiz dönüşüm, teknik rasyonalitenin ötesine geçerek toplumsal meşruiyet ve ekolojik bütünlük zemininde kalıcı değer üretebilmektedir.

Dijital-yeşil entegrasyonun hem vaat ettiklerini hem de içerdiği gerilimleri sayısal göstergelerle irdelemek, tartışmayı soyut kavramlar yerine nicel olgulara oturtmaktadır.

Aşağıdaki tablolar, enerji tüketimi, e-atık, dijital bölünme ve istihdam boyutlarında ikiz dönüşüm tartışmasını destekleyen ve eleştiren temsili verileri bir arada sunmaktadır.

Tablo 1.1. Küresel Veri Merkezleri Elektrik Tüketimi ve Yenilenebilir Payı (2015-2023)

Yıl	Elektrik Tüketimi (TWh)	Küresel Toplam Tüketime Oran (%)	Veri Merkezlerinde Yenilenebilir Kaynak Payı (%)
2015	220	0,9	16
2017	260	1,05	20
2019	300	1,15	24
2021	340	1,20	29
2023	400	1,35	34

Kaynak: IEA Data Centres and Data Transmission Networks Raporu (IEA, 2024, s. 27); IRENA Renewables in Datacentres Teknik Notu (IRENA, 2023, s. 11).

Veriler, veri merkezlerinin sekiz yılda elektrik tüketimini yaklaşık %82 artırmaktadır; aynı dönemde toplam küresel tüketimdeki payının yalnızca %0,45 puan yükselmesi, diğer sektörlerin de genişlediğini göstermektedir. Eleştirmenler, mutlak artışın karbon nötrlük hedefleriyle çeliştiğini vurgulamaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1781). Öte yandan yenilenebilir kaynak payının neredeyse iki katına çıkması, dijital çözümlerin yeşil geçişi hızlandırabileceğini savunanları desteklemektedir (European Investment Bank, 2023, s. 14). Ancak 2023 itibarıyla hâlâ tüketimin üçte ikisinin fosil tabanlı elektrikten geldiği gerçeği, “yeşil dijitalleşme” önermesini sınırlamaktadır (Hou vd., 2023, s. 101592).

Tablo 1.2. Küresel E-Atık Hacmi ve Geri Kazanım Oranı (2015-2023)

Yıl	Oluşan E-Atık (Mt)	Kişi Başına (kg)	Resmî Geri Kazanım Oranı (%)
2015	44,4	6,1	17
2017	47,7	6,5	20
2019	53,6	7,0	23
2021	57,4	7,3	22
2023	62,0	7,7	24

Kaynak: *UN Global E-waste Monitor 2024 (Forti vd., 2024, s. 5).*

Dijital donanım ve yeşil enerji ekipmanı talebindeki artış, e-atık hacmini sekiz yılda %40 yükseltmektedir. Geri kazanım oranı yalnızca %7 puanlık sınırlı bir artış göstermektedir; 2021'deki düşüş, pandemi döneminde atık toplama ve ihracat zincirlerinin aksamasını yansıtmaktadır (Balbay vd., 2021, s. 563). İkiz dönüşümün savunucuları, uzun vadede dögüsel ekonomi politikalarının geri kazanım oranlarını hızla artırabileceğini ileri sürmektedir (Sapmaz Veral, 2021, s. 12). Buna karşın eleştirel literatür, “yeşil” etiketli bataryaların ve güneş panellerinin kullanım ömrü dolunca aynı atık havuzuna eklendiğini, küresel Güney’e yönelen e-atık ihracının çevre adaletsizliği yarattığını belirtmektedir (İpekçi & Köse, 2021, s. 1015).

Tablo 1.3. Dijital Bölünme ve Yeşil Yatırım Yoğunluğu (2023)

Ülke Grubu (Dünya Bankası Gelir Sınıfı)	Hanelerde İnternet Erişimi (%)	Kişi Başına Dijital Yatırım (\$)	Kişi Başına Yeşil Yatırım (\$)
Yüksek Gelirli	90	1 320	1 430
Orta-Üst Gelirli	74	410	250
Orta-Alt Gelirli	55	120	60
Düşük Gelirli	29	24	15

Kaynak: *ITU Measuring Digital Development 2023 (ITU, 2023, s. 8); IMF Climate Finance Tracker 2024 (IMF, 2024, s. 17).*

Tablodaki keskin eşitsizlik, yüksek gelirli ekonomilerin kişi başına dijital yatırımda orta-alt gelir grubunun on katı harcama yaptığını ve paralel olarak yeşil yatırımda da ezici üstünlük taşıdığını göstermektedir (Yurgiden & Erdoğan, 2024, s. 132). Bu durum, ikiz dönüşümün “çifte bölünme” riski içerdiğini teyit etmektedir: Dijital ağlara erişimi sınırlı toplumların yeşil finansmana erişimi de zayıflamaktadır (Li & Lin, 2024, s. 1869). Savunucular, çok taraflı kalkınma bankalarının “yeşil ve dijital” eş şartlı hibelerle aradaki makası kapatabileceğini savunmaktadır; eleştirmenler ise bu mekanizmaların yeni bağımlılık döngüleri yaratabileceği uyarısını yapmaktadır (Doğan, 2022, s. 62).

Tablo 1.4. AB ve Türkiye’de Dijital İkiz Uygulamaları: Enerji Tasarrufu ve Karbon Yoğunluğu (Seçilmiş Sektörler, 2023)

Sektör	Enerji Tasarrufu AB (%)	Enerji Tasarrufu TR (%)	Karbon Yoğunluğu AB (kg CO ₂ /MWh)	Karbon Yoğunluğu TR (kg CO ₂ /MWh)
Çelik	8,5	3,2	260	340
Otomotiv	11,0	4,8	180	245
Lojistik	6,7	2,4	95	125

Kaynak: *Eurofer Digital Twin in Steel 2024* (Eurofer, 2024, s. 6); *TÜBİSAD Dijital Dönüşüm Endeksi 2022* (TÜBİSAD, 2022, s. 34); *IEA CO₂ Emissions by Sector 2023* (IEA, 2023, s. 22).

Çelik, otomotiv ve lojistikte dijital ikiz kullanan AB tesisleri Türkiye’ye kıyasla iki-üç kat daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır; karbon yoğunluğu farkı ise aynı sektörlerde %20-30 düzeyindedir. Bu tablo, teknoloji-yoğun dönüşüm yatırımlarının verimlilik üstünlüğünü sergilerken, kümülatif sermaye maliyeti ve nitelikli işgücü açığı gibi engellerin Türkiye’deki ikiz dönüşüm performansını sınırladığını göstermektedir (Kaya vd., 2025, s. 55). Eleştirel cephe, AB’nin üstün performansını gösterip sınırda karbon vergisiyle rekabet avantajı yaratmasını “yeşil korumacılık” olarak nitelemektedir (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 977).

Tablolardan çıkan ortak payda, ikiz dönüşümün gerçek ve ölçülebilir rekabet avantajları sunmakta olduğu kadar, yeni eşitsizlik alanları ve çevresel dışsallıklar da ürettiğidir. Veri merkezleri elektriği ve e-atık hacmindeki hızlı büyüme, dijitalleşmenin karbon gölgesini açıkça ortaya koymaktadır. Buna karşın yenilenebilir payındaki artış, politika

yönlendirmesinin doğru kurgulandığında enerji karışımını hızla yeşil kılabilirdiğini doğrulamaktadır.

Dijital bölünme verileri, gelir düzeyi ile dijital-yeşil yatırım arasında doğrusal bir korelasyon bulunduğunu göstererek, düşük gelirli ekonomilerin ikiz dönüşüm performansında yapısal dezavantaja sahip olduğunu belgelemiştir. Bu durum, küresel fonlama mekanizmalarının salt karbon metriğine odaklanmak yerine kapasite inşası ve teknoloji transferi ekseninde güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. AB-Türkiye karşılaştırmalı tablo ise ileri sanayi ekonomilerinde dijital ikiz uygulamalarının dönüşüm hızını yansıtmakta; Türkiye'nin nispeten düşük tasarruf oranları, finansman, beceri ve regülasyon açılarındaki farkı ifşa etmektedir.

Sayısal veriler ikiz dönüşümün ne kurtarıcı bir mucize ne de karanlık bir distopya olduğunu, aksine politika tasarımının niteliğine bağlı olarak iki uç sonuç üretebileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Türkiye'nin ve diğer gelişmekte olan ülkelerin, veriye dayalı eleştirileri dikkate alarak adil, kapsayıcı ve çevresel sınırlar içinde bir dijital-yeşil yol haritası oluşturması gerekmektedir.

BÖLÜM II

2. İKİZ DÖNÜŞÜMÜN ULUSLARARASI ALANDAKİ UYGULAMALARI

Bu bölümde, ikiz dönüşüm kavramının uluslararası alandaki uygulamaları, Avrupa Birliği (AB), Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Çin Halk Cumhuriyeti örnekleri üzerinden ele alınmıştır. İkiz dönüşüm, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegrasyonu, ülkelerin ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini eşzamanlı olarak gerçekleştirmelerine olanak sağlayan bir strateji olarak tanımlanmıştır. Bu strateji, farklı ülkelerdeki uygulamaları ve politika yaklaşımlarını anlamak amacıyla kapsamlı bir çerçevede incelenmiştir. Bölümde, her bir ülkenin kendine özgü ekonomik, sosyal ve çevresel koşulları doğrultusunda ikiz dönüşümü nasıl ele aldığı ve bu süreçlerin uluslararası düzeyde nasıl bir etki yarattığı detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Avrupa Birliği örneğinde, ikiz dönüşüm stratejileri Dijital Avrupa Programı, Yeşil Anlaşma ve 2030 Dijital Pusulası gibi politika çerçeveleri kapsamında analiz edilmiştir. AB'nin enerji, ulaşım, sanayi ve tarım sektörlerinde uygulamaya koyduğu yenilenebilir enerji projeleri, karbon nötrlük hedefleri ve dijital altyapı yatırımları, ikiz dönüşümün somut göstergeleri olarak değerlendirilmiştir. Bu projelerin, AB'nin küresel rekabet gücünü artırırken, aynı zamanda çevresel tahribatı azaltmayı ve toplumsal refahı yükseltmeyi hedefleyen çok boyutlu etkiler yarattığı vurgulanmıştır. Ayrıca, dijitalleşmenin yeşil dönüşümle uyumlu hale getirilmesine yönelik teknolojik inovasyonların, AB üyesi ülkeler arasında nasıl bir ortak zemin yarattığı incelenmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri bağlamında, ikiz dönüşüm politikaları Silikon Vadisi gibi teknoloji merkezlerinin dijitalleşmeye yaptığı katkılar ve federal hükümetin yeşil enerji projelerine sağladığı destek üzerinden ele alınmıştır. ABD'nin yenilenebilir enerji yatırımları, elektrikli araç endüstrisindeki liderliği ve karbon yakalama teknolojilerindeki yenilikçi uygulamaları, ikiz dönüşüm stratejisinin başarılı örnekleri olarak sunulmuştur. Özellikle federal düzeydeki kurumların dijital ve çevresel kalkınma projelerine sağladığı fonlar, özel sektörle iş birliği içerisinde geliştirilen akıllı şehir projeleri ve dijitalleşmenin sürdürülebilirlik politikalarına entegrasyonu, ABD'nin ikiz dönüşüm sürecindeki etkisini artırmıştır. Bu kapsamda, dijital teknolojilerin çevresel izleme, enerji yönetimi ve atık azaltımı gibi alanlarda kullanımı, ABD'nin ulusal ve uluslararası düzeydeki politikalarının odak noktası olmuştur.

Çin Halk Cumhuriyeti ise, ikiz dönüşüm stratejisini hem ulusal kalkınma hedeflerine hem de küresel iklim hedeflerine entegre eden bir yaklaşımla ele alınmıştır. Dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin eşgüdümlü bir şekilde ilerletilmesi, Çin'in küresel ekonomik liderlik hedefleriyle doğrudan ilişkilendirilmiştir. Çin'in dijital altyapı yatırımları, akıllı şehir projeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması ve karbon ticaret sisteminin uygulanması, ikiz dönüşüm stratejisinin somut uygulamaları olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, Çin'in dijital inovasyonlarla tarım, sanayi ve enerji sektörlerinde gerçekleştirdiği dönüşümler, bu sürecin ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

Bölümde, AB, ABD ve Çin'in ikiz dönüşüm politikaları karşılaştırmalı bir perspektifle ele alınmış; bu ülkelerin dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinde birbirlerinden nasıl farklılaştıkları ve hangi ortak noktalarda buluştukları analiz edilmiştir. Ayrıca, bu ülkelerdeki uygulamaların uluslararası işbirlikleri üzerindeki etkileri, ikiz dönüşüm stratejilerinin küresel ekonomik ve çevresel dengeler üzerindeki rolünü daha iyi anlamak için incelenmiştir. Bu bağlamda, ikiz dönüşümün ülkeler arası teknoloji transferleri, yenilikçi finansman modelleri ve çevre politikalarının uluslararası harmonizasyonu gibi konulardaki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2.1. Avrupa Birliği'nde İkiz Dönüşüm Stratejileri

Avrupa Birliği (AB), 21. yüzyılın getirdiği çok boyutlu küresel zorluklar karşısında, ekonomik büyümeyle toplumsal refahı ve çevresel sürdürülebilirliği aynı potada eriterek geleceğini inşa etmek için yenilikçi politikalar ve stratejiler geliştirmeye büyük önem vermektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu çerçevede, ikiz dönüşüm olarak adlandırılan dijital ve yeşil dönüşüm süreçleri, AB'nin stratejik hedeflerinin merkezinde konumlanmaktadır. İkiz dönüşüm stratejileri, dijital teknolojilerin sunduğu fırsatlarla, iklim değişikliği ve çevresel bozulmaya karşı geliştirilen yeşil politikaların bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmasını içermekte ve bu sayede AB'nin küresel rekabet gücünü artırırken aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunmasını amaçlamaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). Bu stratejik yaklaşım, sadece ekonomik büyümeyi değil, aynı zamanda toplumsal refahın artırılmasını, sosyal adaletin sağlanmasını ve çevresel risklerin en aza indirilmesini de öncelemektedir (Xu & Li, 2023, s. 10).

AB'nin dijital dönüşüm stratejileri, dijital altyapıların yaygınlaştırılmasını, dijital becerilerin geliştirilmesini ve inovasyonun teşvik edilmesini kapsamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu doğrultuda, AB Komisyonu tarafından hayata geçirilen Dijital Avrupa Programı, dijital yetkinliklerin artırılmasını ve AB'nin dijital teknolojilerdeki liderliğini pekiştirmeyi hedefleyen öncü inisiyatiflerden biridir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881).

Dijital dönüşümün toplumsal etkileri göz önüne alındığında, uzaktan çalışma ve esnek istihdam modellerinin yaygınlaşmasıyla, işgücünün yeni becerilerle donatılması ihtiyacı her zamankinden daha kritik hale gelmiştir (Zhen vd., 2021, s. 25). Özellikle 2020 sonrasında hız kazanan uzaktan eğitim ve sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi, toplumun geniş kesimlerine yönelik hizmetlerin kalitesini ve erişilebilirliğini artırmıştır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). AB, bu dönüşümü desteklemek amacıyla "Digital Skills and Jobs Coalition" adı altında bir inisiyatif başlatmış ve kamu-özel sektör işbirliğiyle dijital becerilerin yaygınlaştırılması için geniş çaplı eğitim programları uygulamaya koymuştur (Xu & Li, 2023, s. 10). Örneğin, İspanya'da yürütülen ve işsiz gençleri dijital becerilerle donatarak istihdama katmayı amaçlayan "Digital Future Now" isimli proje, yerel yönetimler ile teknoloji şirketlerinin ortaklığında gerçekleşmekte olup, kısa sürede olumlu sonuçlar elde etmiştir (Wang & Tang, 2024, s. 1216).

Dijital dönüşüm politikalarının uygulanmasında "2030 Dijital Pusulası" (Digital Compass) adı verilen yol haritası büyük önem taşımaktadır (Li vd., 2022, s. 2884). Söz konusu pusulada, 2030 yılına kadar AB nüfusunun en az %80'inin temel dijital becerileri edinmesi, 5G altyapısının tüm yerleşim bölgelerinde yaygınlaştırılması, kamu hizmetlerinin neredeyse tamamının dijital ortama taşınması ve küçük-orta ölçekli işletmelerin en az %90'ının temel dijitalleşme seviyesine ulaşması hedeflenmiştir (Xu & Li, 2023, s. 10). Bu hedeflerin gerçekleşmesi, AB'nin küresel ölçekte dijital alanda lider pozisyonunu güçlendirmekle kalmayacak, aynı zamanda yeşil dönüşüm politikalarının uygulanmasında dijital teknolojilerin sunduğu fırsatların etkin kullanımına da zemin hazırlayacaktır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12).

Yeşil dönüşüm, özellikle iklim değişikliği ve çevresel bozulmaya karşı mücadelede, AB'nin stratejik öncelikleri arasında başı çekmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Bu süreçte, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve döngüsel ekonomiye geçiş gibi uygulamalar büyük önem taşımaktadır (Zhen vd., 2021, s. 25). AB'nin Yeşil Anlaşma'sı (European Green Deal), bu

dönüşümün çerçevesini çizen temel politika belgesi olarak öne çıkmakta ve 2050'ye kadar karbon nötrlüğüne ulaşma hedefine hizmet etmektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881).

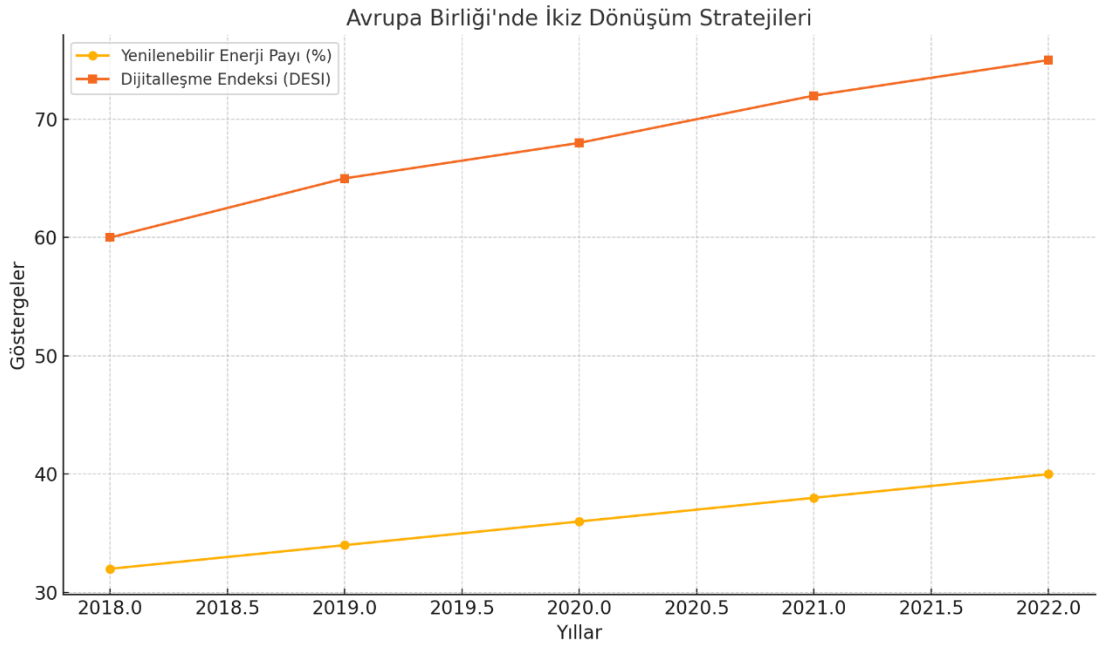
Yeşil dönüşüm uygulamaları, AB genelinde çok çeşitli sektörlerde somut projelerle hayata geçirilmektedir (Li vd., 2022, s. 2884). Örneğin, Almanya merkezli “Green Hydrogen Hub” projesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen yeşil hidrojenin sanayi ve ulaştırma sektörlerinde kullanımını yaygınlaştırarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Fransa’da ise “Renovation Wave” programı kapsamında, binaların enerji verimliliğini artırmak için kapsamlı yenileme faaliyetlerine fon sağlanmakta; bu sayede binaların karbon salımı azaltılırken, enerji tasarrufu da en üst düzeye çıkarılmaktadır (Komninos, 2016, s. 250).

AB, yeşil dönüşümün hızlandırılmasında ar-ge faaliyetlerinin rolüne özel bir önem atfetmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Örneğin, “Clean Aviation” girişimi, havacılık sektöründeki emisyonları büyük ölçüde azaltacak düşük karbonlu yakıt teknolojilerinin geliştirilmesine odaklanmakta, “Smart Grids Europe” projesi ise dijital teknolojilerin elektrik dağıtım şebekelerine entegrasyonu ile enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Söz konusu projeler, aynı zamanda AB’nin dijital ve yeşil dönüşümü bir arada destekleme iradesini yansıtmaktadır (Li vd., 2022, s. 2884).

Dijital ve yeşil dönüşümün birbirini tamamlayan süreçler olarak ele alınması, ikiz dönüşüm kavramının özünü örtüşmektedir (Komninos, 2016, s. 250). Bu bağlamda, AB içerisinde geliştirilen “Gaia-X” veri altyapı projesi, bulut bilişimde Avrupa merkezli bir ekosistem yaratarak verilerin şeffaf ve güvenli bir şekilde depolanmasını hedeflemekte, aynı zamanda enerji kullanımının optimizasyonu için yenilikçi yapay zekâ uygulamaları geliştirmektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). Bunun yanı sıra, akıllı şehir projeleri olarak bilinen “Smart City Lighthouse Projects” girişimleri, enerji, ulaşım ve binaların yönetiminde dijital araçların kullanılmasını, çevreci uygulamaların yaygınlaştırılmasını ve kent yaşamının sürdürülebilirlik perspektifiyle yeniden tasarlanmasını sağlamaktadır (Zhen vd., 2021, s. 25).

Dijitalleşmenin bazı sektörlerde iş kayıplarına, yeşil dönüşümün ise geleneksel enerji yoğun sektörlerde istihdam daralmasına yol açma ihtimali, AB’yi işgücünün yeniden beceri kazanması (reskilling) ve beceri yükseltilmesi (upskilling) programlarına daha fazla kaynak ayırmaya yöneltmiştir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu kapsamda,

“European Social Fund Plus” gibi fonlar, işsiz kalma riski taşıyan çalışanların yeni sektörlere geçişini kolaylaştıracak eğitim ve danışmanlık hizmetlerine mali destek sağlamaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Ayrıca, yenilikçi girişimcilik programlarıyla, dijital ve yeşil alanlarda faaliyet gösteren start-up şirketlerine hibe, kredi ve risk sermayesi imkanları sunulmakta, böylece ekonomi genelinde yeni ve yüksek katma değerli iş olanaklarının yaratılması hedeflenmektedir (Zhen vd., 2021, s. 25).



Şekil 2.1. Avrupa Birliği'nde İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Payı ve Dijitalleşme Endeksi (DESI)

Kaynak: European Parliament & Council, 2023; Yazar tarafından derlenmiştir.

Şekil 2.1’de yer alan grafikte, Avrupa Birliği’nin ikiz dönüşüm stratejilerindeki ilerlemesini iki temel gösterge üzerinden ortaya koymaktadır: yenilenebilir enerji payının artışı ve Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) değerlerindeki yükselme. Grafik, 2018’den 2022’ye kadar geçen sürede her iki göstergede de sürekli bir iyileşme olduğunu göstermektedir. AB ülkelerindeki enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payı, 2018’de %32 iken 2022’de %40’a yükselmiştir. Bu artış, Avrupa Yeşil Anlaşması ve 2030 karbon nötr hedefi doğrultusunda yapılan yatırımların etkisini göstermektedir. Yenilenebilir enerji projelerinin yaygınlaştırılması ve fosil yakıtlardan uzaklaşma politikaları bu ilerlemede önemli rol oynamaktadır. DESI değerlerinde de belirgin bir

yükseliş görülmektedir. 2018 yılında 60 olan değer, 2022'de 75'e çıkmıştır. Bu durum, dijital altyapıya yapılan yatırımların, dijital becerilerin yaygınlaştırılmasının ve kamu hizmetlerinin dijitalleşmesinin AB genelindeki etkisini yansıtmaktadır. Dijital Avrupa Programı gibi stratejilerin bu gelişimdeki katkısı büyüktür. Genel olarak grafik, Avrupa Birliği'nin dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerini birbirini destekleyen bir şekilde ele alarak istikrarlı bir ilerleme kaydettiğini göstermektedir. Bu süreç, hem ekonomik büyümeyi hem de çevresel sürdürülebilirliği eş zamanlı olarak hedefleyen bir yaklaşımın başarısını ortaya koymaktadır.

İkiz dönüşümün bir diğer somut uygulaması, karbon ayak izinin dijital araçlarla ölçülmesi ve azaltılması yönünde atılan adımlardır (Komninos, 2016, s. 250). Örneğin, “Carbon Track and Trace Platform” adı altında geliştirilen dijital platformlar, üretim süreçlerinin karbon salımını gerçek zamanlı olarak izlemeye ve verimlilik analizleri yapmaya imkân tanımaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Bu sayede işletmeler, çevresel performanslarını artıracak hedefleri daha net belirleyebilmekte ve karbon fiyatlandırması gibi politikaların etkinliğini ölçmek daha kolay hale gelmektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881).

Tarım ve gıda sektörleri de dijital ve yeşil dönüşümün kesiştiği önemli alanlar arasında yer almaktadır (Li vd., 2022, s. 2884). AB'nin “Farm to Fork” stratejisi, gıda üretim zincirinde pestisit kullanımı, atık yönetimi ve hayvan refahı gibi konuları ele alırken, aynı zamanda dijital teknolojilerin akıllı tarım uygulamalarına entegrasyonunu teşvik etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Örneğin, Fransa'da “AgriTech 4.0” projesi, drone'lar ve sensörler aracılığıyla toprak ve bitki sağlığını izlerken, su ve gübre kullanımını optimize ederek çevresel etkiyi azaltmakta ve verimliliği artırmaktadır (Zhen vd., 2021, s. 25). Hollanda merkezli “Precision Dairy Farming” girişiminde ise ineklerin sağlık durumu ve süt kalitesi, dijital sensörler ve yapay zekâ algoritmaları kullanılarak izlenmekte, böylece sürdürülebilir ve verimli bir üretim modeli hedeflenmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218).

İkiz dönüşüm stratejilerinin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkabilecek en büyük zorluklardan biri, finansman kaynaklarının yeterliliği ve dağılımıdır (Wang & Tang, 2024, s. 1216). AB, bu konuda “Recovery and Resilience Facility” adı verilen geniş çaplı bir fonlama mekanizması oluşturmuş ve üye ülkelerin ekonomik toparlanma planlarını dijital ve yeşil yatırımlarla destekleyecek şekilde kurgulamıştır (Li vd., 2022, s. 2884). İkiz dönüşüm projelerinin çoğunun uzun vadede geri dönüş sağlayacak yapıda

olması, kısa vadeli yatırım risklerini artırmaktadır. Bu nedenle AB, stratejik planlarında özel sektörü teşvik edecek vergi indirimleri, uygun finansman koşulları ve kamu-özel işbirliği modellerini geliştirmeye yönelik düzenlemelere yer vermektedir (Zhen vd., 2021, s. 25).

Bir diğer önemli husus, ikiz dönüşüm politikalarının toplumsal kabulü ve katılımının sağlanmasıdır (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Dijitalleşme ve yeşil dönüşüm, toplumun çeşitli kesimlerinde farklı düzeylerde etki doğurmakta ve bu etkilerin yönetilmesi, sosyal uyum açısından kritik bir mesele olarak gündeme gelmektedir (Xu & Li, 2023, s. 10). Örneğin, dijital dönüşüm kapsamında geliştirilen kamu hizmetlerinin eşit erişilebilirliği, dijital uçurumun (digital divide) azaltılması ve kişisel verilerin korunması gibi konular, yurttaşların haklı kaygılarına yanıt verecek şekilde ele alınmaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). Yeşil dönüşüm bağlamında ise toplumsal katılım, temiz enerji kooperatifleri ve yerel sürdürülebilirlik girişimleri aracılığıyla teşvik edilmekte; bu sayede, fosil yakıt temelli ekonomiden yenilenebilir enerji odaklı ekonomiye geçiş sürecinde toplumsal destek sağlanmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216).

AB içinde enerji sektöründe gerçekleştirilen büyük ölçekli projeler, ikiz dönüşümün en somut örnekleri arasında yer almaktadır (Li vd., 2022, s. 2884). Örneğin, İspanya ve Portekiz'in ortaklaşa yürüttüğü "Iberian Solar Alliance" projesi, güneş enerjisi potansiyelinden yararlanarak bölgenin elektrik talebinin büyük bölümünü yenilenebilir kaynaklardan karşılama hedefiyle yola çıkmıştır (Komninos, 2016, s. 250). Proje kapsamında geliştirilen "SolarNet" altyapısı, güneş enerji santrallerinin üretim verilerini gerçek zamanlı olarak dijital platformlarda toplayarak, şebeke entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve enerji depolama sistemlerinin yönetimini optimize etmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Benzer şekilde, Kuzey Denizi'nde kurulan rüzgar çiftliklerinin entegrasyonunu sağlayan "North Sea Wind Power Hub" projesi, dijital platformlar üzerinden rüzgar enerjisi üretimini tahmin eden yapay zekâ algoritmaları kullanarak, enerjinin daha verimli biçimde yönetilmesine katkı sunmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1218).

Ulaşım altyapılarının dijitalleşmesi ve çevreci hale getirilmesi, AB'nin ikiz dönüşüm stratejilerinin bir diğer çarpıcı uygulama alanıdır (Zhen vd., 2021, s. 25). Özellikle demiryolu taşımacılığının geliştirilmesine yönelik projeler, karbon emisyonlarını azaltmaya önemli katkı sağlamaktadır (Xu & Li, 2023, s. 10). "Shift2Rail" programı,

demiryolu sektöründe inovasyon ekosistemini güçlendirerek, sürücüsüz tren teknolojilerinden yolcu deneyimini iyileştiren dijital hizmetlere kadar pek çok yeniliği hayata geçirmeyi hedefler (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). Aynı zamanda elektrikli araç altyapısının yaygınlaştırılmasına yönelik “Alternative Fuels Infrastructure Regulation” ile, şarj istasyonlarının dijital olarak yönetilmesi ve enerji talebinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması sağlanarak, elektrikli mobilite dönüşümünün hız kazanması amaçlanmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216).

Tüm bu uygulamalara rağmen, ikiz dönüşüm stratejilerinin hayata geçirilmesinde çeşitli engeller de söz konusu olmaya devam etmektedir (Li vd., 2022, s. 2884). Özellikle üye ülkeler arasında dijital altyapı ve yeşil enerji kaynaklarının yaygınlığı bakımından farklılıklar bulunmaktadır (Zhen vd., 2021, s. 25). Bu farklılıklar, ortak pazarın bütünleşik bir şekilde dönüşmesini zorlaştırabilmekte ve bazı üye ülkelerin daha fazla teknik ve mali desteğe ihtiyaç duyduğunu göstermektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Ayrıca, dijital dönüşümün gerektirdiği büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarının etik ve hukuksal boyutları, AB içerisinde hararetli tartışmalara yol açmaktadır (Komninos, 2016, s. 250). Veri koruması, mahremiyet ve yapay zekâ algoritmalarının toplumsal etkileri konularında düzenleyici çerçevelerin oluşturulması, ikiz dönüşümün sürdürülebilir ve insan odaklı biçimde ilerlemesi için kritik görülmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12).

Yeşil dönüşüm bağlamında da karbon vergisi düzenlemeleri ve emisyon ticaret sistemi gibi politikalar, bazı sektörlerin rekabet gücünü olumsuz etkileyebileceği endişesiyle tartışılmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu nedenle, AB Komisyonu, “Carbon Border Adjustment Mechanism” gibi mekanizmalar aracılığıyla, karbon yoğun ürünlerin ithalatına ek vergiler getirmeyi planlamakta, böylece AB içinde faaliyet gösteren şirketlerin rekabet dezavantajının giderilmesini hedeflemektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2881). Ancak bu tür düzenlemelerin ticaret ortaklarıyla ilişkileri karmaşık hale getirme riski, AB’nin çok boyutlu bir diplomasi yürütmesini gerektirmektedir (Xu & Li, 2023, s. 10).

Avrupa Birliği, iklim değişikliğiyle mücadelenin ve dijital ekonominin yükselişinin aynı anda ivme kazandığı yirmi birinci yüzyıl koşullarında rekabet gücünü korumanın, toplumsal refahı artırmanın ve çevresel sınırlar içinde büyümenin anahtarını ikiz dönüşüm kavramında bulmaktadır. Bu stratejik çerçeve, Birlik’in önceki çevre yükümlülüklerinin –1997 tarihli Kyoto Protokolü’nün bağlayıcı azaltım kotaları ve

2015 Paris Anlaşması'nın 1,5 °C hedefi gibi– üzerine inşa edilmekte, dijitalleşmeyi emisyon azaltımı ve kaynak verimliliğiyle aynı politika silsilesine dâhil etmektedir (Duran & Bozkaya, 2024, s. 224; Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 974). AB'nin 2019'da yayımladığı Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2050'de iklim-nötr kıta olma taahhüdünü hukuki temele oturturken, 2021'de kabul edilen Avrupa Dijital Pusulası dijital on yıl vizyonunu ortaya koyarak 2030'a dek veri altyapısı, siber güvenlik, yapay zekâ ve dijital becerilerde küresel liderlik hedeflerini somutlaştırmaktadır (European Investment Bank, 2024, s. 9). Bu iki amiral belge, ikiz dönüşüm düşüncesini yalnızca politika retoriği olmaktan çıkarıp çok ölçekli teşvik paketleri, idari reformlar ve düzenleyici araçlarla desteklenen kurumlaşmış bir stratejik gündeme dönüştürmektedir (Li vd., 2022, s. 2883).

Birlik'in emisyon ticaret sistemi (EU-ETS), Kyoto döneminden beri karbon maliyeti sinyali verirken, Avrupa İklim Yasası ve Fit for 55 paketleri, emisyon azaltımını dijital izleme-raporlama-doğrulama (MRV) teknolojileriyle senkronize etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Dijital ikiz, blok zinciri ve nesnelerin interneti (IoT) gibi çözümler, tesis düzeyinde gerçek-zamanlı karbon ayak izi ölçümü sağlayarak hem regülasyon uyumunu kolaylaştırmakta hem de “sınırdaki karbon düzenleme mekanizması (CBAM)” kapsamında ihracatçı sektörlerin rekabetçiliğini korumaktadır (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 975). Bu sayede dijital altyapı yatırımları, çevresel politikanın maliyetini düşürmekle kalmamakta; aynı zamanda AB'nin küresel değer zincirlerinde standart belirleyici konumunu güçlendirmektedir (OECD, 2023, s. 40).

Horizon Europe programı (2021-2027, 95,5 milyar avro) AB'de ikiz dönüşümle ilişkili Ar-Ge projelerine doğrudan hibe sağlayarak yeşil hidrojen, yapay zekâ tabanlı enerji yönetimi ve döngüsel ekonomi çözümleri gibi alanlarda özel-kamu ortaklıklarını teşvik etmektedir (European Investment Bank, 2023, s. 15). Bu çabanın tamamlayıcı unsuru olan Dijital Avrupa Programı (7,5 milyar avro), yüksek başarımlı hesaplama (HPC) ve bulut-kenar (cloud-edge) ekosistemini kurumsallaştırarak verinin güvenli, düşük karbonlu işlemine odaklanmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 13). Aynı zamanda LIFE ve CEF Digital fonları döngüsel ekonomi pilotları ile 5G/6G koridorlarını yaygınlaştırmakta, Tek Pazar Programı ise paydaşları ikiz dönüşüm sürecine dahil edecek dijital inovasyon merkezleri ağına finansman sağlamaktadır (Sapmaz Veral, 2021, s. 11).

Yatırım ölçeğinde NextGenerationEU (NGEU), pandemi sonrası toparlanmayı yeşil ve dijital önceliklere koşullu hibeler ve kredilerle yönlendirerek toplam 806 milyar avroyu

bulan bir mali arka plan sunmaktadır (Veugelers vd., 2023, s. 59). 2022 verileri, NGEU fonlarının %49'unun iklim hedeflerine, %26'sının ise dijital hedeflere ayrıldığını göstermektedir (European Investment Bank, 2024, s. 21). Ancak bu payların birbirinden yalıtılmış kalmadığı; dijital yatırımların en az yarısının aynı zamanda enerji verimliliği, temiz ulaşım veya akıllı şebeke bileşenleri içerdiği saptanmaktadır (Li & Lin, 2024, s. 1865). Böylece fonlama modelleri, ikiz dönüşümü program mantığına gömülü tutarak ikili sinerjiyi kurumsal refleks hâline getirmektedir.

Dijital dönüşüm ayağında Birlik, veri egemenliği ve açık stratejik özerklik hedefleri doğrultusunda Veri Yönetişimi Tüzüğü, Dijital Pazarlar Yasası ve Dijital Hizmetler Yasası gibi düzenlemelerle büyük teknoloji platformlarının rekabet gücünü dengelerken, aynı anda kamu-özel sektöre ait sürdürülebilirlik verilerinin birlikte çalışabilirliğini güvence altına almaktadır (Kaya vd., 2025, s. 50). İklim ayağında ise döngüsel ekonomi eylem planı, tekstil, elektronik ve inşaat gibi kaynak yoğun sektörler için ürün-yaşam döngüsünü dijital pasaportlar üzerinden izleyecek zorunlu şeffaflık standartları öngörmektedir (Duran & Bozkaya, 2024, s. 229). Böylece dijital pasaportlar bir yandan tedarik zinciri şeffaflığını artırmakta, öte yandan iklim tasarım parametrelerini piyasa giriş koşulu hâline getirerek AB'nin küresel norm koyucu rolünü pekiştirmektedir (Sapmaz Veral, 2021, s. 14).

AB'nin iddialı enerji hedefleri REPowerEU ve “%45 yenilenebilir enerji payı” planlarıyla pekiştirilirken, akıllı şebeke yatırımlarında dijital ikizlerin kullanımı, talep-yanıt dengelemesini optimize ederek yenilenebilir enerji değişkenliğini yönetmektedir (UNCTAD, 2023, s. 10). Yasal çerçeve, Enerji Performansı Binalar Direktifi güncellemesiyle bina otomasyonu ve yapay zekâ destekli enerji yönetimini zorunlu kılarak, konut sektörünü de ikiz dönüşüm paradigmasına entegre etmektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2887). Ulaşım da AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation), şarj altyapısını yapay zekâ temelli konum analitiği ile planlayarak hem dijital hem de yeşil hedefleri birleştirmektedir (OECD, 2023, s. 42).

Finansal sektörde Sürdürülebilir Finans Taksonomisi, yeşil tahvil ve yeşil sukuk ihracının uygunluk kriterlerini netleştirirken, dijital raporlama standartlarını zorunlu kılmaktadır (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 345). Dijital finans düzenlemeleri (MiCA, DORA) ise kripto varlıkların çevresel ayak izini gözeterek finans piyasalarının yeşil geçişle uyumunu güvence altına almaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1784). Böylelikle sermaye piyasaları, ikiz dönüşümle uyumlu projelere dijital izlenebilirlik ve

çevresel ek açıklama yükümlülüğü getirerek kaynak dağılımını yönlendirmektedir (Yáñez Serrano vd., 2024, s. 8).

Bu stratejiler üye devletler düzeyinde Ulusal İyileşme ve Direnç Planları'yla (NRRP) hayata geçirilmektedir. İtalya, 191,5 milyar avroluk NRRP'sinin %37'sini iklim, %25'ini dijital hedeflere ayırmakta; planın %21'inde dijital-yeşil kesişim projeleri tanımlanmaktadır (European Investment Bank, 2023, s. 18). Almanya, Klima-Digital Paktı ile sanayi süreçlerinde dijital ikiz entegrasyonu için 5 milyar avro hibe sağlamaktadır (Kaya vd., 2025, s. 53). Fransa, France 2030 yatırım stratejisinde yeşil hidrojen, elektrikli araç bataryası ve dijital tasarım yazılımlarını aynı çağrı paketinde fonlamaktadır (Veugelers vd., 2023, s. 60). Bu örnekler, ikiz dönüşümün tekil yönetsel silo yaklaşımı yerine bütünlük misyon-odaklı bir finans mimarisiyle yürütüldüğünü göstermektedir.

Eleştirel literatür, AB stratejisinin kapsayıcılık boyutuna dikkati çekmektedir. Dijital kapasite ve yeşil teknoloji yatırımları bakımından geride kalan Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinin, ikiz dönüşüm yarışında “ikili periferileşme” riskiyle karşı karşıya olduğu vurgulanmaktadır (Yurgiden & Erdoğan, 2024, s. 131). Ayrıca dijital altyapının enerji tüketimi –özellikle veri merkezlerinin elektrik talebi– konusunda “yeşil yük” tartışması sürmektedir (European Investment Bank, 2024, s. 25). Buna karşı Komisyon, “EU Code of Conduct for Data Centres” ve “Energy-Efficient Cloud-Edge Continuum” girişimleriyle yeşil enerji tedarik sözleşmeleri (PPA) ve atık ısı geri kazanımını zorunlu kılan sertifika mekanizmalarını genişletmektedir (Holopainen vd., 2024, s. 1787).

AB'nin uluslararası düzeydeki ikiz dönüşüm diplomasisi de dikkat çekicidir. Global Gateway girişimi, Afrika, Latin Amerika ve Güneydoğu Asya'daki yeşil-dijital altyapı projelerine 300 milyar avro kaynak aktararak Çin'in Kuşak-Yol İnisiyatifi'ne sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (UNCTAD, 2023, s. 12). İkili bağlamda ise AB-ABD Ticaret ve Teknoloji Konseyi (TTC), yapay zekâ yönetimi, yarı iletken tedarik zinciri ve karbonsuzlaşma standartları gibi alanlarda ortak norm geliştirerek küresel politika alanını şekillendirmektedir (Li & Lin, 2024, s. 1870).

AB'nin ikiz dönüşüm stratejileri dinamik bir politika karmaşıklığı sergilemektedir: Yeşil Mutabakat çevresel hırsı belirlerken, Dijital Pusula dijital geçişi düzenlemekte; çok katmanlı fonlama mekanizmaları, hukuki düzenlemeler ve dış politika araçlarıyla bu iki süreci yapısal olarak iç içe geçirmektedir. Bu model, AB'nin küresel rekabet konumunu korumasına yardımcı olmakta; aynı zamanda sosyal kapsayıcılık, bölgesel

eşitsizlik ve enerji talebi gibi ikincil riskleri yönetmek için uyarlanabilir yönetim enstrümanları geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye gibi aday ve komşu ülkeler açısından ise AB deneyimi, iklim taahhütleriyle dijitalleşme yatırımlarının eşzamanlı planlamasının sağlayacağı sinerjilere ve yönetilmesi gereken gerilim alanlarına dair zengin bir ders havuzu sunmaktadır.

Özetle, AB'nin ikiz dönüşüm stratejileri, dijital ve yeşil dönüşümün birbirini destekleyen ve tamamlayan yapısıyla, 21. yüzyılın en kritik meydan okumalarına karşı kapsamlı bir çözüm sunmayı hedeflemektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Dijital teknolojiler, üretimden hizmet sektörüne, kamu yönetiminden toplumsal katılıma kadar geniş bir yelpazede köklü değişiklikleri mümkün kılarak, verimlilik, yenilikçilik ve sosyal refahı artırma potansiyeli taşımaktadır (Li vd., 2022, s. 2884). Aynı zamanda yeşil dönüşüm, iklim değişikliğiyle mücadele, çevresel bozulmanın önlenmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması bakımından kritik uygulamalar içermektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Bu iki sürecin entegrasyonu, AB'nin küresel ölçekte rekabetçiliğini korumasına, yeni istihdam olanakları yaratmasına, toplumsal dayanıklılığı güçlendirmesine ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yaklaşmasına hizmet etmektedir (Zhen vd., 2021, s. 25).

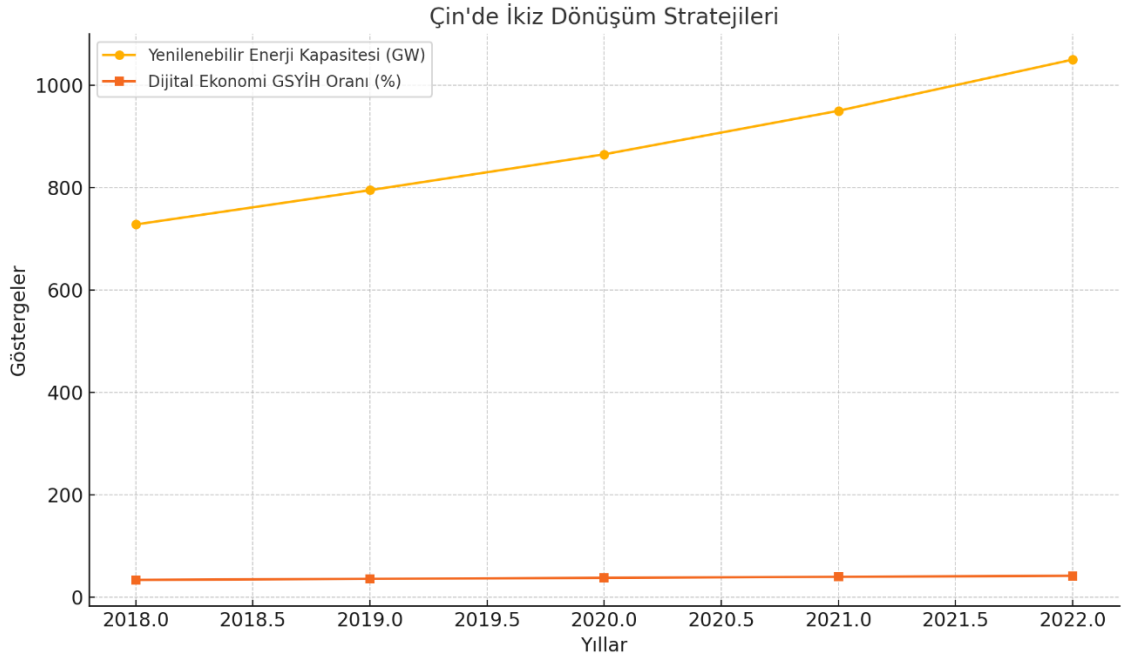
2.2. Çin'in Dijital ve Çevreci Kalkınma Yaklaşımı

Çin Halk Cumhuriyeti, 21. yüzyılın getirdiği çok boyutlu küresel zorluklarla yüzleşmek ve geleceğe yönelik sürdürülebilir bir kalkınma modeli inşa etmek amacıyla, dijital ve yeşil dönüşüm kavramlarını birlikte ele alan kapsamlı bir stratejik çerçeveye odaklanmış durumdadır (Xu & Li, 2023, s. 10). Söz konusu “ikiz dönüşüm” yaklaşımı, bir taraftan dijital teknolojilerin ekonomik, toplumsal ve idari yapılar üzerindeki dönüştürücü gücünü kullanmakta; diğer taraftan çevresel sürdürülebilirliği önceleyerek karbon emisyonlarını azaltmayı, doğal kaynakların korunmasını ve yeşil teknolojilerin yaygınlaşmasını hedeflemektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Böylelikle, Çin Halk Cumhuriyeti, ekonomik büyüme ve küresel rekabet gücü kazanma yolunda büyük adımlar atarken, aynı zamanda çevresel tahribatın önüne geçmeyi ve toplumsal refahı artırmayı da amaçlamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216).

Çin Halk Cumhuriyeti'nde dijital dönüşüm, ekonominin her alanına nüfuz eden köklü bir değişimin anahtarı olarak görülmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Özellikle yapay zekâ, büyük veri, bulut bilişim ve 5G teknolojileri, ülkenin sanayi ve hizmet

sektörlerinde verimliliği artıran, maliyetleri düşüren ve küresel rekabet avantajı yaratan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Bu doğrultuda, Çin hükümeti, dijital altyapıların yaygınlaştırılması için çok çeşitli projeleri hayata geçirmiştir. Örneğin, “Dijital İpek Yolu” olarak adlandırılan girişim kapsamında, ülke genelinde 5G baz istasyonlarının sayısı hızla artırılmış; akıllı şehir pilot projeleri olan Xiong’an New Area, Tianjin Eco-City ve Chengdu Future City gibi bölgelerde, yapay zekâ temelli trafik yönetimi ve akıllı enerji sistemleri geliştirilmiştir (Xu & Li, 2023, s. 10). Bu akıllı şehir uygulamalarında, vatandaşların elektrik, su ve doğalgaz tüketimleri gerçek zamanlı izlenerek, gereksiz tüketimlerin azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi hedeflenmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Ayrıca, dijital kimliklendirme ve e-yönetim uygulamalarının yaygınlaşmasıyla bürokratik süreçler kolaylaşmış, vatandaşlara sunulan kamu hizmetlerinin etkinliği artmıştır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 13).

Dijital dönüşüm sürecinde, devletin yanı sıra özel sektör de büyük rol oynamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1219). Alibaba, Tencent, Baidu ve JD.com gibi teknoloji devleri, geniş Ar-Ge yatırımlarıyla yapay zekâ, bulut bilişim ve e-ticaret alanlarında öncü uygulamalar geliştirmektedir. Örneğin, Alibaba Cloud’un “Green Data Center” projesi kapsamında, veri merkezlerinde enerji verimliliği artırılmış, soğutma sistemleri optimize edilmiş ve karbon ayak izinin azaltılması sağlanmıştır (Xu & Li, 2023, s. 12). Benzer şekilde, JD Logistics tarafından yürütülen “Green Stream Initiative” isimli girişim, lojistik süreçlerdeki karbon emisyonlarını düşürmek için elektrikli araç kullanımını yaygınlaştırmakta ve ambalaj atıklarını en aza indirmek üzere yeniden kullanılabilir paketleme çözümlerini uygulamaya koymaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 14). Tencent’in “WeEarth” adlı çevresel izleme sistemi ise, dijital haritalama ve yapay zekâ destekli veri analizi ile ormansızlaşma, su kirliliği ve hava kalitesi gibi konulara ilişkin güncel bilgileri kamuoyu ve ilgili kurumlarla paylaşmakta, böylece çevresel sorunların çözümüne yönelik farkındalığı artırmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216).



Şekil 2.2. Çin'de İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Kapasitesi ve Dijital Ekonominin GSYİH'deki Payı

Kaynak: Wang & Tang, 2024; Yazar tarafından derlenmiştir.

Şekil 2.2.'de yer alan grafikte, Çin'in ikiz dönüşüm stratejileri kapsamında iki temel göstergedeki gelişimini sergilenmektedir: yenilenebilir enerji kapasitesi (GW) ve dijital ekonominin GSYİH içindeki oranı. 2018-2022 döneminde her iki göstergenin sürekli bir artış göstermesi, Çin'in dijitalleşme ve yeşil dönüşüm alanlarında kaydettiği ilerlemeyi açıkça ortaya koymaktadır. Çin'in yenilenebilir enerji kapasitesi 2018 yılında 728 GW iken, 2022 yılında bu değer 1050 GW'a ulaşmıştır. Bu artış, özellikle güneş ve rüzgar enerjisi projelerine yapılan yoğun yatırımlarla sağlanmıştır. Xinjiang, Gansu ve İç Moğolistan gibi bölgelerde inşa edilen büyük ölçekli güneş ve rüzgar enerji tarlaları, bu kapasitenin artırılmasında kilit rol oynamıştır. Çin'in karbon nötrlük hedefi doğrultusunda yenilenebilir enerjiye yönelimi, bu verilerle doğrulanmaktadır. Dijital ekonominin Çin GSYİH'sindeki oranı, 2018'de %34 seviyesindeyken, 2022'ye gelindiğinde %42'ye çıkmıştır. Bu artış, Çin'in dijital altyapıya yaptığı yatırımlar, 5G teknolojisinin yaygınlaşması ve e-ticaret sektöründeki büyüme ile ilişkilidir. Ayrıca, dijital hizmetlerin üretim süreçlerine entegrasyonu ve akıllı şehir projeleri de bu büyümeye katkıda bulunmuştur. Grafik genel olarak, Çin'in ikiz dönüşüm stratejilerinin ekonomik büyüme ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini eşzamanlı olarak desteklediğini göstermektedir. Bu ilerleme, Çin'in küresel dijital ekonomi ve yeşil

enerji liderliği konusundaki iddialarını pekiştiren önemli bir gelişme olarak değerdendirilmektedir

Çin Halk Cumhuriyeti'nde ikiz dönüşümün ikinci ayağını oluşturan yeşil dönüşüm, özellikle karbon emisyonlarının azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması üzerine odaklanmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 10). Bu kapsamda, Çin hükümeti, 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını zirveye ulaştırmayı ve 2060 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflediğini açıklamıştır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12). Bu kapsamda uygulamaya konulan “Karbon Piyasası” (Emission Trading Scheme) pilot projeleri, Shenzhen, Şanghai ve Pekin gibi büyük metropollerde yürütölmekte ve işletmelerin emisyon ticareti yoluyla karbon salımlarını azaltmasını teşvik etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1217). Shenzhen'deki karbon piyasası uygulaması, şirketlere belirli bir karbon emisyon kotası tanımlamakta; şirketler, ihtiyaçları dışında kalan kotalarını satabilirken, kotasını aşanlar ise ilave maliyetlerle karşılaşmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 13). Bu mekanizma, hem firmaları enerji verimliliğini artırmaya yönlendirmekte hem de karbon yoğun teknolojilerin terk edilmesine zemin hazırlamaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 15).

Çin'in yenilenebilir enerji alanında hayata geçirdiği projeler, ikiz dönüşümün yeşil boyutunu en somut biçimde yansıtmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Gobi Çölü gibi geniş coğrafyalara kurulan dev güneş enerjisi tarlaları, rüzgar türbinleriyle birlikte ülkenin enerji arzında fosil yakıt payını hızla düşürmektedir. Örneğin, Xinjiang ve Gansu eyaletlerinde büyük ölçekli güneş enerjisi tesisleri devreye alınmış; bu tesislerin akıllı şebeke sistemlerine entegrasyonuyla, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, kesintisiz biçimde ulusal şebekeye dağıtılmaya başlamıştır (Xu & Li, 2023, s. 14). Aynı şekilde, denizüstü (offshore) rüzgar enerjisi projeleri, kıyı bölgelerdeki elektrik talebini karşılamada önemli rol oynamaktadır. Guangdong ve Fujian açıklarında kurulan rüzgar çiftlikleri, yapay zekâ temelli rüzgar tahmin algoritmaları kullanarak enerji üretimini optimize etmekte ve maliyetleri düşürmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16). Bu uygulamalar, dijital teknolojilerin yeşil dönüşüme nasıl entegre edildiğini ve ikiz dönüşümün pratiğe yansıyan boyutlarını açıkça göstermektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1216).

Endüstriyel sektörlerde de ikiz dönüşüm uygulamaları dikkate değerd boyutlara ulaşmıştır (Xu & Li, 2023, s. 10). Özellikle “Akıllı Fabrika” (Smart Manufacturing) projeleri, geleneksel sanayi kollarını dijital teknolojilerle dönüştürerek hem verimliliği

artırmayı hem de çevresel etkiyi en aza indirmeyi hedeflemektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1217). Örneğin, Shenzhen ve Guangzhou bölgelerinde faaliyet gösteren elektronik üretim tesislerinde yapay zekâ destekli kalite kontrol sistemleri devreye alınmış, seri üretimde oluşabilecek hatalı ürünlerin sayısı büyük ölçüde azaltılmıştır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 17). Bu yaklaşım, kaynak israfını önleyerek üretim süreçlerinde enerji ve malzeme tüketimini asgari düzeye çekmeyi amaçlamaktadır (Xu & Li, 2023, s. 11). Ayrıca, “Endüstri 4.0” prensipleri doğrultusunda, robotik otomasyon, sensör ağları ve büyük veri analitiği sayesinde üretim döngüleri kısa sürede yeniden yapılandırılabilir; böylece talebe göre uyarlanabilir, esnek ve düşük karbonlu üretim süreçleri ortaya çıkmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1219). Bu projeler, aynı zamanda firmalara maliyet tasarrufu imkânı sunarken, küresel pazarlarda rekabetçi olma yolunda stratejik bir avantaj sağlamaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 12).

Tarım ve kırsal kalkınma alanında da ikiz dönüşüm uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 10). Çin hükümetinin “Akıllı Tarım” inisiyatifi, çiftçilerin dijital platformlar üzerinden hava durumu verilerini, toprak analiz sonuçlarını ve ürün pazar bilgilerini gerçek zamanlı olarak takip etmelerine imkân tanımaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 18). Ülkenin farklı bölgelerinde yürütülen “Precision Farming” projeleri kapsamında drone’lar, sensörler ve IoT (nesnelerin interneti) teknolojileri kullanılarak ekim, sulama ve hasat süreçleri optimize edilmekte, su ve gübre kullanımında ciddi tasarruflar sağlanmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu da hem maliyetleri düşürmekte hem de doğaya bırakılan kimyasal atıkları asgari seviyeye çekmektedir (Xu & Li, 2023, s. 12). Örneğin, Heilongjiang eyaletinde uygulanan “Green Rice Fields” projesi, dijital sulama sistemleri ve otonom traktörler aracılığıyla ekim ve hasat dönemlerinde insan kaynaklı hataları en aza indirerek verimde artış yakalamıştır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 13). Bu gibi uygulamalar, ikiz dönüşümün sadece şehir ve sanayi merkezlerinde değil, tarım ve kırsal bölgelerde de yaygın bir biçimde benimsendiğini göstermektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1217).

Ulaşım ve lojistik sektörlerinde de dijital ve yeşil kalkınma yaklaşımları dikkate değer sonuçlar doğurmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 10). Elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması, karbon emisyonlarını düşürmeye yönelik temel stratejilerden biridir. Çin, bu doğrultuda dünyanın en büyük elektrikli araç pazarına dönüşmüş, hem kamu hem de özel sektör tarafından elektrikli ulaşım altyapısı genişletilmeye devam edilmiştir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 14). Örneğin, Pekin ve Şanghay’da otobüs filosunun büyük

bir kısmı elektrikli araçlara dönüştürülmüş, şehir içi hava kirliliği önemli ölçüde azalmıştır (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Bununla birlikte, “Akıllı Ulaşım Sistemi” adı verilen dijital uygulamalar, trafik akışını optimize ederek yakıt tüketimini azaltmakta ve sera gazı emisyonlarını ciddi boyutta düşürmektedir (Xu & Li, 2023, s. 12). Şanghay’da yürütülen “Smart Traffic Hub” projesi, büyük veri analitiği aracılığıyla trafik yoğunluğunu gerçek zamanlı izlemekte, alternatif rota önerileriyle araç kuyruklarını önlemeye çalışmakta ve bu sayede gereksiz yakıt tüketiminin önüne geçmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16). Ayrıca, lojistik sektöründe kullanılan otonom teslimat araçları ve drone’lar, hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de özellikle büyük kentlerin merkezindeki trafik yoğunluğunu hafifletmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1219).

Çin Halk Cumhuriyeti’nde ikiz dönüşümü destekleyen düzenleyici çerçeveler de dikkat çekicidir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Devlet, dijital ekonomi ve yeşil ekonomi alanlarında kapsamlı politika setleri oluşturarak, girişimcilik ve Ar-Ge faaliyetlerine yönelik teşvik mekanizmalarını devreye sokmuştur (Xu & Li, 2023, s. 11). Örneğin, “Made in China 2025” ve “Internet Plus” gibi ulusal stratejiler, ileri dijital teknolojilerin imalat ve hizmet sektörlerine entegrasyonunu desteklemekte, enerji verimliliği ve kaynak tasarrufu sağlayan projelere vergi indirimleri ve finansman avantajları sunmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16). Yeşil finans alanında ise, yeşil tahvillerin ihraç edilmesini kolaylaştıran düzenlemeler ve bankaların çevreci projelere düşük faizli kredi sağlamasını teşvik eden politikalar dikkati çekmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1217). Şanghay “Green Finance Pilot Zone” kapsamında, sıfır atık hedefleyen endüstriyel park projelerinden çevre dostu ulaşım sistemlerine kadar geniş bir yelpazedeki girişimlere özel fonlar tahsis edilmekte, böylece dijitalleşmeyle bütünleşen sürdürülebilir teknolojilerinin yaygınlaşması amaçlanmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 13).

Bu kapsamlı politikaların yanı sıra, bölgesel ve yerel yönetimlerin de ikiz dönüşüme yönelik farkındalığı hızla artmakta, her bölge kendi özgün koşullarına uygun projeler geliştirmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 18). Örneğin, Hainan serbest ticaret bölgesinde, “Dijital Yeşil Ticaret Platformu” adıyla bilinen bir uygulama hayata geçirilmiş; dijital veri entegrasyonu sayesinde, ithalat ve ihracat işlemlerinde karbon ayak izinin ölçülmesi ve raporlanması zorunlu hale getirilmiştir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu platform, gümrük ve ticaret otoritelerinin ekolojik etkileri izleyebilmesine imkân tanıdığı gibi, işletmelerin de sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi

benimsemesini teşvik etmektedir (Xu & Li, 2023, s. 15). Benzer şekilde, Chongqing şehrinde başlatılan “Akıllı Nehir Yönetimi” projesi, Yangtze Nehri’nin kirlilik seviyelerini uydu görüntüleri ve sensör verileri aracılığıyla anlık izleyerek, kirliliğin kritik seviyelere ulaşması durumunda yerel yönetimleri uyarır ve derhal önlem alınmasını sağlar (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 17). Böylece, dijital teknolojiler yalnızca ekonomik ve sanayi alanlarında değil, aynı zamanda doğal ekosistemlerin korunmasında da etkin olarak kullanılmış olmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1218).

İkiz dönüşümün toplumsal yansımaları, işgücünün niteliksel dönüşümünü de beraberinde getirmektedir (Xu & Li, 2023, s. 10). Dijitalleşmenin hız kazandığı sektörlerde, nitelikli elemanlara olan talep artmakta; buna karşılık geleneksel enerji veya imalat kollarında çalışan işgücünün yeniden eğitilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 14). Çin hükümeti, bu dönüşümün sosyal etkilerini hafifletmek ve işsizliği önlemek amacıyla ulusal çapta yeniden beceri kazandırma programları başlatmıştır (Wang & Tang, 2024, s. 1217). Örneğin, “Digital Skills Boost” adlı proje, işten çıkarılan kömür madencisi gibi geleneksel sektör çalışanlarına, veri analitiği, robotik ve siber güvenlik gibi alanlarda eğitim vermektedir. Bu sayede, ikiz dönüşümün yarattığı istihdam kaymaları yönetilebilir hale gelmekte, ekonomik ve sosyal refah dengesi korunmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 13). Ayrıca, kadınların ve gençlerin dijitalleşme sürecine katılımını artırmaya yönelik teşvikler, toplumsal cinsiyet eşitliği ve genç istihdamı konularında da olumlu gelişmeleri beraberinde getirmektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16).

Çin Halk Cumhuriyeti’nin ikiz dönüşüm yaklaşımı, uluslararası ilişkiler bakımından da stratejik bir önem taşımaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1219). Kuşak ve Yol Girişimi çerçevesinde, dijital ipek yolu inisiyatifleriyle Asya, Afrika ve Avrupa’da dijital altyapılar kurmakta, aynı zamanda yeşil enerji projelerini sınır ötesi ortaklıklarla entegre etmektedir (Xu & Li, 2023, s. 11). Örneğin, Pakistan ve Sri Lanka’da kurulan güneş enerjisi santralleri, Çin menşeli dijital kontrol sistemleriyle donatılmıştır. Böylece elektrik üretimi ve dağıtımı, anlık verilerle optimize edilmekte, dışa bağımlılığı azaltmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 13). Yine bazı Afrika ülkelerinde inşa edilen dijitalleşmiş tarım projeleri, Çin’in yeşil kalkınma deneyimini uluslararası düzeyde paylaştığını ve sürdürülebilir büyüme anlayışını küresel ölçekte yaymak istediğini göstermektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1216). Bu süreç, ikiz dönüşümün, Çin’in

yumuşak gücünü ve ekonomik etkinliğini artıran temel bir dış politika aracı haline geldiğini de açıkça ortaya koymaktadır (Xu & Li, 2023, s. 12).

Bununla birlikte, Çin'in ikiz dönüşüm politikasının önünde bazı engeller de bulunmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 14). Özellikle dijitalleşme konusundaki düzenleyici çerçevenin hızla gelişmesine karşın, veri güvenliği, siber güvenlik ve kişisel mahremiyet gibi konular hakkında uluslararası düzeyde tartışmalar devam etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Aynı şekilde, yeşil dönüşümün hızlı uygulanması sırasında, geleneksel enerji sektörlerinde faaliyet gösteren işletmelerin ve işgücünün uyum süreci hassasiyet arz etmektedir (Xu & Li, 2023, s. 15). Bu nedenle, Çin hükümeti, enerji sektöründeki dönüşümü yönetmek için adil geçiş politikalarını devreye sokmuş, kömür madenciliğinden yenilenebilir enerjiye geçişte ortaya çıkan istihdam sorunlarını hafifletmek üzere sosyal destek mekanizmalarını güçlendirmiştir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16). Bu tarz önlemler, ikiz dönüşümün sağlıklı ve kapsayıcı bir biçimde sürdürülmesi adına kritik önem taşımaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1217).

Tüm bu anlatılanlar doğrultusunda, Çin Halk Cumhuriyeti'nde ikiz dönüşüm kavramı, dijital teknolojilerin ekonomik ve toplumsal yapıya yaygın biçimde nüfuz etmesiyle, yeşil kalkınma stratejilerinin çevre koruma ve sürdürülebilir büyüme hedefleriyle bütünleştirildiği kapsamlı bir çerçeveyi ifade etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1218). Bu strateji kapsamında, devletin ve özel sektörün ortak çabasıyla yürütülen çok sayıda pilot uygulama ve geniş çaplı proje, Çin'in küresel sahnede liderliğe oynayan bir güç olarak öne çıkmasını sağlamaktadır (Xu & Li, 2023, s. 12). Dijital altyapı projelerinden akıllı şehir programlarına, karbon piyasası uygulamalarından yeşil tarıma, elektrikli araçlardan endüstri 4.0'a kadar uzanan bu geniş yelpaze, ikiz dönüşümün tüm sektörler ve toplum kesimleri üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 16). Elbette bu dönüşüm, düzenleyici ve sosyal zorlukları da beraberinde getirmektedir; ancak Çin hükümeti, kapsamlı stratejik politikalar ve sosyal destek mekanizmaları yardımıyla bu süreci yönetmeye çalışmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1219). İkiz dönüşümün Çin özelindeki başarısı, dünyanın diğer ülkeleri için de örnek teşkil etmekte ve sürdürülebilir kalkınmanın dijitalleşmeyle birlikte nasıl bir ivme kazanabileceğine dair önemli dersler sunmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 10).

2.3. ABD'nin Teknolojik İnovasyon ve Çevre Politikaları

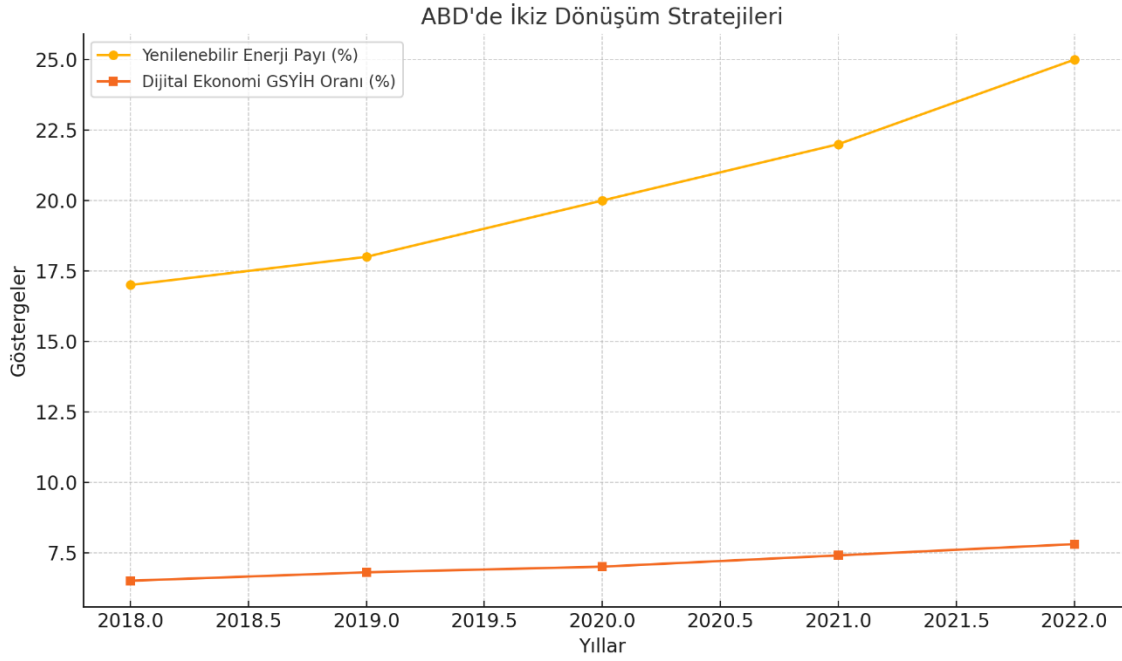
Amerika Birleşik Devletleri (ABD), küresel ölçekte teknolojik inovasyonun öncüsü olarak, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerini bir arada ele alan ikiz dönüşüm stratejilerini geliştirmek suretiyle, ekonomik kalkınmasını sürdürülebilir bir temel üzerine inşa etme yönünde kapsamlı adımlar atmaktadır (Mou, 2024, s. 35). ABD'nin ikiz dönüşüm yaklaşımı, Silikon Vadisi gibi yenilikçi ekosistemlerin sunduğu teknolojik potansiyelle birlikte, çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlayan yasal, kurumsal ve finansal mekanizmaları entegre etmeye dayanmaktadır (Zhen, 2021, s. 48). Söz konusu yaklaşım, büyük ölçekli araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) yatırımlarından başlamak üzere, federal kurumların sağladığı fonlamalar, özel sektör girişimleri, üniversitelerin katma değeri yüksek araştırmaları ve eyalet bazında uygulamaya konulan çok çeşitli yeşil-dijital projeleri kapsamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225).

ABD'nin dijital dönüşüm politikaları, inovasyon merkezleri etrafında şekillenen bir ekosistemi öne çıkararak, yapay zekâ, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT) ve bulut bilişim gibi teknolojilerin hızla gelişmesine zemin hazırlamaktadır (Komninos, 2016, s. 245). Örneğin, Kaliforniya merkezli Silikon Vadisi, dünyanın en önde gelen teknoloji şirketlerine ve üniversitelere ev sahipliği yaparken, federal düzeydeki National Science Foundation (NSF) ve National Institutes of Health (NIH) gibi kurumlar, sürdürülebilir teknolojilerle ilgili araştırmaları ve inovasyon projelerini kapsamlı biçimde fonlayarak bu dönüşümün hızlanmasına katkıda bulunmaktadır (Mou, 2024, s. 35). Ayrıca, Department of Energy bünyesindeki Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E), dijital teknolojilerle temiz enerji uygulamalarını birleştiren araştırmaların desteklenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Zhen, 2021, s. 48). Bu kapsamda, yenilenebilir enerji ve dijital altyapı projelerinin kesiştiği alanlarda geliştirilen yeni uygulamalar, ABD'nin dijital inovasyon yoluyla çevresel sürdürülebilirliği ilerletme gayretini açıkça ortaya koymaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878).

Yeşil dönüşüm politikaları da ABD'nin ikiz dönüşüm stratejisinin diğer temel ayağını oluşturmaktadır (Du & Jian, 2023, s. 3). Özellikle, Paris İklim Anlaşması'na yeniden katılım sürecinin ardından federal düzeyde oluşturulan iklim politikaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılmasını içeren bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1785). Bu doğrultuda, Clean Power Plan gibi programlar, kömür gibi yüksek

karbonlu enerji kaynaklarından uzaklaşılmasını teşvik etmekte; güneş ve rüzgar enerjisi projelerine finansal destek, vergi indirimi ve altyapı kolaylıkları sağlamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225). Texas'ta inşa edilen büyük ölçekli rüzgar tarlaları ve Kaliforniya'daki solar çiftlikler, ABD'nin yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimini hızla artırdığının en somut örneklerini oluşturmaktadır (Kominos, 2016, s. 245). Ayrıca, Google'ın Project Sunroof girişimi, ABD genelinde ev sahiplerinin güneş paneli kurulum potansiyelini dijital haritalarla analiz ederek, güneş enerjisinin yaygınlaşmasına katkı sunmakta ve dijital teknolojinin yeşil uygulamalarla nasıl entegre edilebileceğini gözler önüne sermektedir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 22).

İkiz dönüşüm stratejilerinin en somut uygulama alanlarından biri, enerji sektöründeki dijitalleştirme çalışmalarıdır (Xu & Li, 2023, s. 18). ABD'de elektrik şebekesinin modernizasyonuna yönelik geliştirilen "Smart Grid" girişimleri, hem enerji verimliliğini artırmayı hem de yenilenebilir kaynakların şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmayı hedeflemektedir (Mou, 2024, s. 35). Örneğin, "Smart Grid Interoperability Panel" adı altında çeşitli kamu kuruluşları, özel şirketler ve üniversiteler bir araya gelerek, gerçek zamanlı veri analitiği sayesinde arz-talep dengesinin sağlanmasına ve kesintilerin minimuma indirilmesine yönelik protokoller geliştirmiştir (Zhen, 2021, s. 48). Kaliforniya'nın bazı bölgelerinde hayata geçirilen pilot projelerde, tüketiciye akıllı sayaçlar üzerinden fiyat sinyalleri iletilmekte; bu sayede, yoğun talep saatlerinde elektrik kullanımı düşürülerek karbon emisyonları azaltılmaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878). Böylelikle, dijital teknolojiler, enerji altyapısındaki yenilikçi çözümlerle birleştiğinde, ABD'nin yeşil dönüşüm hedefine hizmet eden kritik bir etmen olarak öne çıkmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225).



Şekil 2.3. ABD'de İkiz Dönüşüm Stratejileri: Yenilenebilir Enerji Payı ve Dijital Ekonominin GSYİH'deki Payı

Kaynak: OECD (2023); Yazar tarafından derlenmiştir.

Şekil 2.3.'te yer alan grafik, ABD'nin ikiz dönüşüm stratejileri kapsamında iki anahtar göstergede sağladığı ilerlemeyi ortaya koymaktadır: enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payı ve dijital ekonominin GSYİH içerisindeki oranı. Veriler, 2018-2022 döneminde her iki göstergede de belirgin bir artış yaşandığını göstermektedir. ABD'de yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payı 2018 yılında %17 iken, 2022 yılına gelindiğinde %25'e yükselmiştir. Bu artış, rüzgar ve güneş enerjisi projelerinin genişlemesi ve fosil yakıtların kullanımının azalmasıyla mümkün olmuştur. Özellikle Clean Power Plan gibi federal düzeyde uygulanan programlar, yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik ederek bu büyümeye katkı sağlamıştır. Ayrıca, Kaliforniya ve Teksas gibi eyaletler, yenilenebilir enerji alanında liderlik yaparak ulusal hedeflere ulaşılmasında önemli rol oynamıştır. Dijital ekonominin ABD'nin GSYİH içindeki payı 2018'de %6,5 iken, 2022'de bu oran %7,8'e yükselmiştir. Bu artış, ABD'nin teknoloji merkezlerinin dijital inovasyon süreçlerini hızlandırması ve dijital altyapıya yapılan büyük yatırımlarla ilişkilidir. Silikon Vadisi gibi merkezlerdeki gelişmeler, yapay zekâ, büyük veri ve bulut bilişim gibi teknolojilerin ekonomiye katkısını artırmıştır. Ayrıca, dijital hizmetlerin yaygınlaşması ve e-ticaret sektöründeki büyüme, bu yükselişi desteklemiştir. Grafik, ABD'nin dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerini entegre ederek ekonomik büyümeyi ve çevresel sürdürülebilirliği birlikte ele aldığını

göstermektedir. Bu veriler, ABD'nin ikiz dönüşüm stratejilerinde elde ettiği başarının sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda şekillendiğini ve uluslararası düzeyde önemli bir etki yarattığını açıkça ortaya koymaktadır.

Elektrikli araçlar ve ilgili altyapı da ABD'nin ikiz dönüşümünde önemli bir yer tutmaktadır (Du & Jian, 2023, s. 3). Tesla gibi öncü şirketler, elektrikli araç teknolojilerini geliştirerek pazarda büyük bir pay elde etmiş, Nevada'da kurulan devasa "Gigafactory" tesisleriyle batarya üretim kapasitesini küresel çapta yükseltmiştir (Holopainen vd., 2024, s. 1785). Bu yatırımlar, hem dijitalizasyonun sağladığı yüksek teknoloji üretim süreçlerini hem de fosil yakıtlardan uzaklaşmayı hedefleyen çevre politikalarını bir araya getirmesi bakımından ikiz dönüşüm kavramını somutlaştırmaktadır (Mou, 2024, s. 35). Federal yönetim, bu araçların yaygınlaşmasını desteklemek amacıyla vergi teşvikleri, sübvansiyonlar ve kamuya açık şarj istasyonlarına yönelik fonlar sağlamaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 22). Özellikle Kaliforniya Eyaleti, sıfır emisyonlu araç satış hedefleri ve temiz hava programlarıyla elektrikli araç pazarının büyümesine ivme kazandırmış; akıllı mobilite uygulamaları ve otonom sürüş sistemleri de dijital dönüşümün önemli bileşenleri olarak devreye alınmıştır (Wang & Tang, 2024, s. 1225). Böylece, enerji ve ulaşım sektörlerinde aynı anda yürütülen teknolojik inovasyon ve çevresel sürdürülebilirlik politikaları, ABD'nin ikiz dönüşüm politikasının başarısında kilit unsurlar haline gelmiştir (Xu & Li, 2023, s. 18).

Karbon yakalama ve depolama (Carbon Capture and Storage - CCS) teknolojileri de ABD'nin ikiz dönüşüm uygulamaları kapsamında giderek öne çıkmaktadır (Komninos, 2016, s. 245). Bu teknolojiler, endüstriyel tesislerden veya elektrik santrallerinden çıkan karbon emisyonlarını yakalayarak, yeraltı formasyonlarında depolamayı ya da endüstriyel süreçlerde yeniden kullanmayı amaçlamaktadır (Zhen, 2021, s. 48). National Energy Technology Laboratory (NETL), CCS teknolojilerinin geliştirilmesi ve pilot projelerinin uygulanması için önemli yatırımlar yapmakta; kamu-özel işbirliğiyle yürütülen deneme tesisleri, karbonun güvenli bir biçimde yeraltına enjekte edilmesini test etmektedir (Mou, 2024, s. 35). Bu girişimler, dijital teknolojilerle desteklenen izleme ve doğrulama sistemleri sayesinde, depolanan karbonun sızıntı riskini asgari düzeye indirerek, çevre ve insan sağlığı açısından güvenlik sağlamaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225). Aynı zamanda, endüstriyel üretimde enerji verimliliğini artıran yapay zekâ destekli çözümler de karbon yakalama süreçleriyle entegre edilerek, sera

gazı emisyonlarının büyük ölçüde azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878).

ABD'deki ikiz dönüşümün diğer bir somut uygulaması, büyük veri ve yapay zekâ kullanımıyla çevresel faktörlerin izlenmesi ve yönetilmesidir (Du & Jian, 2023, s. 3). Federal düzeydeki "Climate Data Initiative" girişimi, NASA ve NOAA gibi kuruluşların topladığı iklim verilerini araştırmacılara ve girişimcilere açık hale getirerek, hava durumu, deniz seviyesindeki yükselme ve sera gazı salım istatistiklerinin analizini kolaylaştırmaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1785). Bu inisiyatif, dijital platformlar üzerinden sağlanan veri setleri sayesinde, bölgesel ve yerel yönetimlerin afet risklerini öngörmesine ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı erken önlem almasına olanak tanımaktadır (Zhen, 2021, s. 48). Ayrıca, büyük teknoloji şirketleri, yapay zekâ algoritmaları geliştirerek orman yangınlarının tespiti, su kaynaklarının korunması ve biyoçeşitlilik kaybının önlenmesi gibi konularda çevre kuruluşlarına veri analizi ve tahmin araçları sağlamaktadır (Mou, 2024, s. 35). Böylelikle, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik politikaları el ele vererek, çevresel risklerin azaltılmasında ve doğal kaynakların daha rasyonel kullanılmasında önemli ilerlemeler kaydetmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1225).

Akıllı şehir projeleri de ikiz dönüşüm uygulamalarının kentsel ölçekteki en belirgin örneklerindendir (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 22). Örneğin, New York City'deki "Smart City Challenge" inisiyatifi, ulaşım altyapısının dijitalleştirilmesi, binalarda enerji verimliliği teknolojilerinin uygulanması ve hava kirliliğinin gerçek zamanlı izlenmesine yönelik akıllı sensörlerin yaygınlaştırılması üzerinde yoğunlaşmaktadır (Xu & Li, 2023, s. 18). Bu sayede, trafik yoğunluk haritalarının sürekli güncellenmesi ve mobil uygulamalar aracılığıyla sürücülere rota önerileri sunulması mümkün olmakta, karbon salımlarına bağlı kirliliğin azaltılmasında olumlu sonuçlar elde edilmektedir (Mou, 2024, s. 35). Ayrıca, enerji verimliliği noktasında "Green Building" sertifikasyon programlarıyla dijital teknolojilerin entegre edilmesi, akıllı ısıtma-soğutma sistemleri ve otomasyon çözümleri aracılığıyla binalardaki enerji tüketimini gözle görülür ölçüde düşürmektedir (Zhen, 2021, s. 48). Bu tür kent içi dönüşüm projeleri, ABD'nin dijital kalkınma gündemiyle yeşil politikalarını aynı çerçevede sürdürmesinin kentsel yaşam alanlarında somut ve gözlemlenebilir etkiler yarattığını göstermektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878).

Sanayi sektöründe dijital dönüşümün enerji verimliliği ve atık azaltma boyutları, ikiz dönüşümün bir diğer çarpıcı örneğidir (Wang & Tang, 2024, s. 1225). “High Performance Computing for Manufacturing” programı, ABD’nin önde gelen üretim tesislerinde büyük veri analitiği ve simülasyon yöntemlerini kullanarak proses optimizasyonu yapmayı hedeflemektedir (Komninos, 2016, s. 245). Bu program kapsamında, çelik endüstrisi, kimya tesisleri veya otomotiv fabrikaları gibi yüksek enerji tüketimine sahip sektörlerde, süreçlerin dijital ikizlerinin oluşturulması ve yapay zekâ destekli algoritmalarla verimlilik analizlerinin yapılması sağlanmaktadır (Zhen, 2021, s. 48). Böylece, üretimde kullanılan enerji miktarı azaltılırken, ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanıma uygun hale getirilmesi için dijital yönetim sistemleri devreye sokulmaktadır (Mou, 2024, s. 35). Örneğin, Intel gibi teknoloji devleri, sürdürülebilir üretim ve döngüsel ekonomi odaklı pilot projelerde, yarı iletken imalatından kaynaklanan atıkları minimuma indirmek ve su kullanımını optimize etmek için otomasyon ve IoT altyapısını etkin biçimde kullanmaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878).

Dijital ekonominin gelişmesi, aynı zamanda ABD’de sosyal ve kurumsal transformasyonları da hızlandırmaktadır (Du & Jian, 2023, s. 3). Uzaktan çalışma ve e-ticaretin yaygınlaşması, karbon emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte, veri merkezlerinin enerji tüketimini de artırmaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1785). Bu nedenle, Microsoft ve Amazon gibi büyük bulut sağlayıcıları, veri merkezlerini yenilenebilir enerjiyle çalıştırmak ve sürdürülebilirlik hedeflerini gerçekleştirmek için uzun vadeli enerji satın alma anlaşmaları (PPA) yapmaktadır (Mou, 2024, s. 35). “Amazon’s Climate Pledge” inisiyatifi, tedarik zincirinin her aşamasında emisyonların azaltılmasını öngörmekte; dijital tedarik zinciri yönetimi, otonom teslimat sistemleri ve elektrikli kargo filoları gibi yenilikçi uygulamalarla ikiz dönüşüm sürecini hızlandırmaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225).

Tarım ve gıda sektöründe de ikiz dönüşüm politikalarının yansımaları gözlemlenmektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878). Özellikle Ortabatı eyaletlerinde yürütülen “Precision Agriculture” projelerinde, çiftçilere gerçek zamanlı veri sağlayan mobil uygulamalar, gübre ve su kullanımını optimize etmekte, böylece maliyetleri düşürürken çevresel etkileri azaltmaktadır (Du & Jian, 2023, s. 3). Bu projelerin bazılarında, rüzgar enerjisiyle çalışan tarımsal sulama sistemleri ve atık su arıtma

teknolojileri entegre edilerek, tam anlamıyla yeşil ve dijital çözümlerin iç içe geçtiği bir ekosistem yaratılmaktadır(Holopainen vd., 2024, s. 1785).

Diğer yandan, ABD’de devlet kurumlarının ikiz dönüşümde oynadığı rol de önemini korumaktadır (Wang & Tang, 2024, s. 1225). Örneğin, Environmental Protection Agency (EPA), dijital teknolojiler aracılığıyla atık yönetimi, hava kalitesi izleme ve kirleticilerin gerçek zamanlı tespiti gibi uygulamalarda etkin politikalar geliştirerek, yeşil dönüşümün sürdürülmesinde rehberlik etmektedir (Komninos, 2016, s. 245). Federal hükümet, sürdürülebilir altyapı projelerinde dijitalleştirmeyi esas alan hibrit finansman modellerini devreye alarak, yerel yönetimlerin akıllı ulaşım ve çevreci binalar gibi inisiyatiflerini desteklemektedir (Zhen, 2021, s. 48). Aynı zamanda, Biden yönetiminin açıkladığı altyapı planları, geniş bant internet erişiminin kırsal alanlara kadar yaygınlaştırılmasını ve yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelik vergi indirimlerini kapsayarak, ikiz dönüşümün ulusal ölçekte yayılmasına hız kazandırmaktadır (Liu, Wang & Wei, 2024, s. 22). Bu durum, ABD’nin dijital ekonomiye geçişte sadece ekonomik büyümeyi değil, aynı zamanda karbon ayak izini düşürmeyi ve gelecek nesillerin çevresel refahını sağlamayı amaçladığını göstermektedir (Xu & Li, 2023, s. 18).

ABD’deki sivil toplum örgütleri ve üniversiteler de ikiz dönüşümün ilerlemesine anlamlı katkılar sunmaktadır (Mou, 2024, s. 35). Stanford Üniversitesi’nden MIT’ye kadar pek çok araştırma kuruluşu, yapay zekânın yeşil enerji yönetimine entegrasyonu, karbon salımını ölçme teknikleri ve döngüsel ekonomi için yeni dijital platformlar geliştirme konularında öncü çalışmalar yürütmektedir (Zhen, 2021, s. 48). Ayrıca, non-profit kuruluşlar, özel sektörle işbirliği yaparak, “hackathon” ve “challenge” programları düzenlemekte; bu sayede, genç girişimcilerin iklim değişikliği ve dijitalleşme eksenindeki yenilikçi fikirlerini ticarileştirmeye yönelik destek mekanizmaları oluşturulmaktadır (Holopainen vd., 2024, s. 1785). Bu yaklaşım, ABD’nin ikiz dönüşüm sürecinin tabandan tavana birçok paydaşı bir araya getirdiğini ve toplumsal katılımın da sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2878).

ABD’deki ikiz dönüşüm politikalarının uluslararası boyutta da etkileri gözlemlenmektedir (Du & Jian, 2023, s. 3). Örneğin, gelişmekte olan ülkelere yönelen teknolojik destek programları ve yeşil finansman mekanizmaları, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik alanında küresel işbirliği fırsatları yaratmaktadır (Komninos, 2016, s.

245). ABD, bu çerçevede karbon ayak izi düşük imalat, yenilenebilir enerji üretimi ve dijital hizmet ticareti konusunda çok taraflı anlaşmalarda inisiyatif alarak, diğer ülkelerin de ikiz dönüşüm yolunda ilerlemesini teşvik etmektedir (Wang & Tang, 2024, s. 1225). Öte yandan, dijital vergilendirme, siber güvenlik ve veri koruma gibi konular, uluslararası düzenlemelerin ve müzakerelerin odak noktası haline gelirken; ABD, küresel teknoloji şirketlerinin merkez üssü olarak, bu politikaların çevresel boyutunu da gözetken çok yönlü bir yaklaşım geliştirmeye çalışmaktadır (Mou, 2024, s. 35). Bu durum, ikiz dönüşümün sadece ulusal değil, uluslararası arenada da önemli diplomatik ve ekonomik sonuçlar doğurduğunun bir göstergesidir (Zhen, 2021, s. 48).

2.4. BM ve Sürdürülebilirlik Politikaları

Birleşmiş Milletler (BM) sistemi, ikiz dönüşüm paradigmasına küresel boyutta yön tayin eden normatif ve kurumsal çerçeveyi oluşturmaktadır. BM'nin 2015'te kabul ettiği 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi, dijitalleşme ve yeşil dönüşümü, sekiz sayılı amacın (insan onuruna yakışır iş ve ekonomik büyüme) teknoloji boyutu ve on üç sayılı amacın (iklim eylemi) çevresel boyutu üzerinden bütünleşik olarak ele almakta, böylece ikiz dönüşüm düşüncesini “gezegen sınırlarının içinde refah” hedefiyle kurumsallaştırmaktadır (UNCTAD, 2023, s. 9). BM Genel Kurulu 75/27 sayılı kararında dijital ve yeşil kalkınma sinerjisini “bütüncül sürdürülebilirlik stratejisi” olarak kavramsallaştırmakta; bu yaklaşım, 169 alt hedefe nüfuz ederek kamu, özel sektör ve sivil toplum için ortak eylem alanları yaratmaktadır (Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights & World Health Organization, 2008, s. 11).

BM'nin ikiz dönüşüm mimarisi çok katmanlıdır: İklim müktesebatının çekirdeğinde UNFCCC ve Paris Anlaşması yer almakta; dijitalleşme alanında ise ITU ve BM Dijital İşbirliği Yol Haritası süreçleri yol gösterici işlev görmektedir (Li & Lin, 2024, s. 1863). Paris Anlaşması'nın 4/12. maddesi, ulusal katkı beyanlarının (NDC) düzenli dijital raporlama ve izleme araçlarıyla güncellenmesini öngörmektedir; Katoviçe Kural Kitabı ise uyumlaştırılmış veri formatı getirmekte, dijital ikiz ve bulut tabanlı MRV sistemlerinin standardizasyonunu zorunlu kılmaktadır (Ensari Alpay & Karahan Gökmen, 2023, s. 973). Bu gereklilik, iklim yönetişimini veri güdümlü hâle getirerek yeşil politikaların dijital altyapı yatırımlarıyla eşleşmesini kaçınılmaz kılmaktadır.

Dijital dönüşümü yönlendiren kurumsal sütun ise BM Genel Sekreterliği'nin 2030 Dijital İşbirliği Yol Haritasıdır. Bu belge, dijital kamusal mallar, kapsayıcı bağlantı, insan hakları ve yapay zekâ etik ilkelerini, sürdürülebilir kalkınma bağlamında çapraz kesen öncelikler olarak tanımlamaktadır (European Investment Bank, 2024, s. 24). Yol haritasının temel savı, dijital altyapının (International Public Infrastructure) yalnızca ekonomik verimlilik sağlamakla kalmadığı; aynı zamanda iklim eylemi için kritik veri şeffaflığı sunduğudur (Kaya vd., 2025, s. 49). Bu kapsamda ITU-D sektörü, 2022 tarihli Küresel Bağlanabilirlik Raporunda, düşük karbonlu ağ teknolojileri ve yeşil veri merkezlerinin yaygınlaştırılmasını, 5G/6G geçiş planlarının ayrılmaz parçası olarak konumlandırmaktadır (OECD, 2023, s. 41). Böylelikle BM'nin dijital politika organları ile çevresel rejimleri arasında kurumsal yakınsama inşa edilmektedir.

BM'nin Finans Gereksinimleri başlığı altında vücut bulan Addis Ababa Eylem Gündemi, sürdürülebilir kalkınma fonlarının harekete geçirilmesinde yeşil ve dijital bileşenlere öncelik tanımaktadır (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s. 342). G20–UN ortaklığında geliştirilen Sürdürülebilir Finans Yol Haritası, yeşil tahvil, dijital varlık ve iklim risk açıklamalarını entegre eden raporlama standartlarına vurgu yapmaktadır (Artun, 2024, s. 38). Yeşil tahvil prensipleri, BM Çevre Programı Finans Girişimi (UNEP FI) himayesinde geliştirilen Sustainable Digital Finance çerçevesiyle kesişmekte, dijital izlenebilirlik (blockchain, dijital ikiz) sayesinde yatırımcı güvenini artırarak sermaye maliyetini düşürmektedir (European Investment Bank, 2023, s. 17).

BM Kalkınma Programı (UNDP) sahada ikiz dönüşüm önceliklerini somutlaştırmaktadır. Digital Strategy 2022–2025, UNDP projelerinde dijital ikiz modellemeyi afet risk azaltımı, tarımsal erken uyarı ve kentsel planlama çözümlerine entegre etmektedir (Ünal & Toraman, 2023, s. 8). Aynı zamanda Climate Promise inisiyatifi, 120 ülkenin NDC güncellemelerine teknik-dijital destek vererek uyarlanmış iklim modelleri, veri yönetim platformları ve emisyon senaryoları geliştirmektedir (UNCTAD, 2023, s. 12). Bu çerçevede dijital kapasite geliştirme, yeşil geçiş finansmanına erişimin ön koşulu olarak değerlendirilmektedir (Doğan, 2022, s. 60). BM'nin Digital4Climate temalı pilot uygulamaları, Mozambik ve Fiji'de dijital ikiz tabanlı mangrov restorasyonu projeleriyle mavi karbon kredisi yaratmakta, ikiz dönüşümün sahadaki etkisini görünür kılmaktadır (Li, Rao & Wan, 2022, s. 2886).

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin (SKH) dijital-yeşil sinerjileri bütüncül bir matris içinde takip edilmektedir. Örneğin SKH 9 (sanayi, altyapı ve inovasyon) dijital imalat

yöntemleri ve akıllı lojistik sistemleriyle üretim verimliliğini artırmakta; bu durum SKH 12 (sorumlu üretim ve tüketim) kapsamında atık ve hammadde kullanımını azaltmaktadır (Ran vd., 2023, s. 102). SKH 7 (erişilebilir temiz enerji), akıllı şebekeler ve yenilenebilir enerji varlıklarının dijital ikiz entegrasyonu ile ilerletilmektedir; SKH 13 (iklim eylemi) ise uyum ve hafifletme tedbirlerinin dijital izlenebilirlikle şeffaflaşmasını zorunlu kılmaktadır (Hou vd., 2023, s. 101594). BM İstatistik Bölümü'nün Global SDG Indicator Frameworkü, dijital veri kümelerini resmi izleme göstergeleriyle uyumlu hâle getirerek ikiz dönüşümün performans ölçümüne kurumsal bir zemin sağlamaktadır (Xu & Li, 2023, s. 7).

BM İklim Teknoloji Merkezi ve Ağı (CTCN), gelişmekte olan ülkelere dijital iklim çözümlerinin teknoloji transferini kolaylaştırmakta; Green Climate Fund (GCF), düşük karbonlu dijital altyapı projelerine finansman tahsis etmektedir (Li & Lin, 2024, s. 1868). Technology Mechanism çatısı altındaki Climate Technology Incubators, dijital ikiz, uzaktan algılama ve yapay zekâ ile tarımsal verimlilik artışını hedefleyen girişimlere tohum sermaye sağlamaktadır (Liu vd., 2024, s. 2). Böylece BM, teknoloji ve finans mimarisini bir arada tasarlayarak ikiz dönüşüme yön veren küresel ekosistem inşa etmektedir (Holopainen vd., 2024, s. 1782).

ONU-Habitat ise People-Centered Smart Cities girişimiyle kentsel dijitalleşme ve yeşil altyapı yatırımlarını entegre etmektedir. Dijital ikiz tabanlı şehir modellemeleri, karbon-nötr mahalle tasarımı ve sürdürülebilir ulaşım algoritmalarını bir araya getirmekte; bu sayede SKH 11 (sürdürülebilir şehir ve topluluklar) hedefine katkı sağlanmaktadır (Aygül & Yıldız, 2018, s. 83). Waste Wise Cities programı, atık yönetiminde döngüsel ekonomi prensiplerini blok zinciri temelli izleme sistemleriyle desteklemekte, ikiz dönüşümün kent ölçeğinde uygulanabilirliğini göstermektedir (Yaş, 2022, s. 79).

UNEP'in Emissions Gap Report serisi, dijital veri analitiğiyle ülkelerin emisyon hedef-açıklarını ölçmekte; Resource Efficiency and Circular Economy platformu ise e-atık ve iklim maliyetlerini azaltacak dijital çözümlere politika rehberi sunmaktadır (Sapmaz Veral, 2021, s. 13). UNEP'in GRID-Geneva programı, yüksek çözünürlüklü uydu ve IoT verilerini açık erişimli iklim risk haritalarına dönüştürerek politika yapımcıların uyum stratejilerini desteklemektedir (Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights & World Health Organization, 2008, s. 13).

BM'nin sosyal boyut odaklı ajansları da ikiz dönüşüme entegre olmaktadır. ILO, *Green Jobs* ve *Digital Skills for Decent Work* programlarıyla dijitalleşmenin yaratacağı beceri

talebini yeşil iş fırsatlarıyla eşleştirmektedir (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s. 27). WHO ve UNICEF, *Digital Health* stratejileriyle tele-sağlık çözümlerinin karbon etkisini azaltacak enerji verimli veri merkezleri tasarımı rehberleri yayımlamaktadır (Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights & World Health Organization, 2008, s. 18).

BM İnsan Hakları Yüksek Komiserliği, dijital dönüşüm süreçlerinde öne çıkan mahremiyet, algoritmik önyargı ve veri mülkiyeti tartışmalarını, ikiz dönüşümün sosyal adalet boyutuna entegre etmektedir (Krotz, 2017, s. 110). İklim adaleti ve veri adaletini keşimsel çerçevede ele alan bu yaklaşım, Paris Anlaşması'nın 11/2. maddesindeki *Just Transition* ilkesini dijital ekosisteme uyarlamaktadır (Yáñez Serrano vd., 2024, s. 9).

Ancak literatür, BM çerçevesinin uygulanabilirlik yönünden bazı gerilim alanları barındırdığını ortaya koymaktadır. Dijital bölünme, halihazırda fosil yoğun kalkınma yolundaki ülkeleri ikiz dönüşüme hazırlıksız yakalamakta; düşük karbon fonlarına erişim, dijital altyapı koşuluna bağlanmaktadır (Yurgiden & Erdoğan, 2024, s. 134). Bununla birlikte “yeşil-dijital dayatma” eleştirileri, çok taraflı fonların şartlılık kriterlerini geliştirmekte olan ülkelerin kalkınma öncelikleriyle çelişebilecek biçimde tasarlandığına işaret etmektedir (Doğan, 2022, s. 65). BM Çok Paydaşlı Ortaklık Platformu, bu eleştirileri yanıtlamak üzere teknoloji ve finans transferinde “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk” ilkesini, dijital kapasite inşasıyla uyumlaştırmaya çalışmaktadır (UNCTAD, 2023, s. 14).

Özetle BM'nin sürdürülebilirlik politikaları, ikiz dönüşüm eksenini normatif belgelerden saha projelerine ve finans mekanizmalarına kadar yayılan kapsamlı bir yönetim eko-sistemi içinde işletmektedir. Paris Anlaşması'nın dijital MRV kuralları, ITU'nun kapsayıcı bağlantı standartları ve UNDP'nin proje portföyleri, dijital ve yeşil bileşenleri ayrılmaz kılmakta, böylece SKH performansını veri güdümlü ve karbon hassas hâle getirmektedir. Ancak dijital bölünme, teknoloji transferinin adilliği ve enerji yoğun veri altyapılarının çevresel maliyeti gibi tartışmalar, ikiz dönüşüm idealinin uygulanmasında kritik sınamalar oluşturmaktadır. BM, bu gerilimleri çözmek üzere çok aktörlü ve çok katmanlı mekanizmalar geliştirmekte; ikiz dönüşümü yalnızca teknik bir entegrasyon değil, aynı zamanda adalet temelli küresel kamu politikası olarak şekillendirmektedir.

BÖLÜM III

3. TÜRKİYE'DE İKİZ DÖNÜŞÜM

3.1. Türkiye'nin Yeşil dönüşüm Politikaları

Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu politikalar, çevrenin korunması, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi çeşitli alanları kapsamaktadır. Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde belirlenen standartlar ve hedefler doğrultusunda şekillendirilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye, çevre politikalarını anayasal düzeyde güvence altına alarak, çevre koruma ilkelerini devletin temel yükümlülüklerinden biri haline getirmiştir (Aygül & Yıldız, 2018, s.79).

Yeşil dönüşümün bir parçası olarak, Türkiye'nin enerji politikalarında da önemli reformlar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliğinin artırılması, bu politikanın temel taşlarını oluşturmaktadır. Türkiye, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını yaygınlaştırarak, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmayı ve sera gazı emisyonlarını düşürmeyi hedeflemektedir (Artun, 2024, s.20). Bu hedef doğrultusunda, çeşitli teşvik mekanizmaları ve yasal düzenlemeler hayata geçirilmiş, yenilenebilir enerji yatırımlarının önü açılmıştır.

Sıfır Atık projesi de Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikalarının önemli bir bileşenidir. Bu proje, atık yönetiminde etkinliği artırmayı, atıkların kaynağında azaltılmasını ve geri dönüşüm oranlarının artırılmasını amaçlamaktadır. Türkiye, bu projeyle atıkların çevreye zarar vermesini engellemeyi, doğal kaynakları korumayı ve sürdürülebilir şehircilik uygulamalarını teşvik etmeyi planlamaktadır (Akdağ & Şiraz, 2021, s.85).

Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, aynı zamanda toplumun tüm kesimlerinin katılımını gerektiren çok boyutlu bir yaklaşımla yürütülmektedir. Bu süreçte, kamu kurumları, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve bireyler arasında etkin bir iş birliği sağlanması hedeflenmektedir. Özellikle, dijitalleşmenin bu süreçteki rolü giderek önem kazanmaktadır. Dijital dönüşüm, çevre politikalarının uygulanmasında ve izlenmesinde etkinlik sağlamaktadır. Örneğin, çevresel verilerin dijital platformlarda toplanması ve

analiz edilmesi, karar alma süreçlerini hızlandırmakta ve daha etkili sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır (Aksoy, 2024, s.10).

Kamu sektöründe dijital dönüşüm, çevre politikalarının sürdürülebilirlik açısından daha da güçlendirilmesini sağlamaktadır. Kamu kurumlarının dijitalleşmesi, çevreyle ilgili bilgilerin daha şeffaf ve erişilebilir olmasını sağlamakta, bu da kamuoyunun bilinçlenmesine ve çevre koruma bilincinin artmasına katkı sunmaktadır. Türkiye'de dijitalleşme sürecinin hız kazanmasıyla birlikte, çevresel denetimlerin etkinliği de artmıştır (Akmeşe, 2020, s.115).

Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, aynı zamanda yükseköğretim kurumlarında da önemli değişimlere yol açmıştır. Üniversiteler, yeşil dönüşüm konusunda farkındalık yaratmak ve bu alanda bilimsel araştırmalar yapmak amacıyla çeşitli programlar ve projeler geliştirmektedir. Dijital okuryazarlık dersleri ve çevreci inovasyon merkezleri, bu dönüşümün eğitim alanındaki yansımaları arasında yer almaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.22).

Bu bakımdan, Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, çok boyutlu ve kapsamlı bir çerçevede ele alınmaktadır. Bu politikalar, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, atık yönetimi, dijitalleşme ve eğitim gibi farklı alanlarda entegre bir şekilde yürütülmektedir. Türkiye, bu politikalarla hem çevre koruma hedeflerine ulaşmayı hem de ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde sağlamayı amaçlamaktadır. Bu süreçte, dijital dönüşüm ve toplumsal farkındalık artırıcı projeler önemli bir rol oynamakta, Türkiye'nin gelecekteki çevresel performansını şekillendirmektedir (Fırat & Güney, 2020, s.58).

Türkiye'nin yeşil dönüşüm süreci, ulusal ve uluslararası iş birlikleri ile desteklenmekte ve bu sayede çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine daha hızlı ve etkili bir şekilde ulaşılmaktadır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği'ne uyum süreci ve Paris Anlaşması gibi uluslararası anlaşmalar, Türkiye'nin çevre politikalarını şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Türkiye, bu uluslararası platformlarda aktif bir rol alarak, küresel çevre sorunlarının çözümüne katkıda bulunmayı ve aynı zamanda kendi ulusal çıkarlarını korumayı hedeflemektedir (İmer-Ertunga & Seyhun, 2022, s.4).

Aynı zamanda, Türkiye'de yeşil dönüşüm politikalarının toplum tarafından benimsenmesi için çeşitli bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmekte ve bu kampanyalar aracılığıyla çevre bilinci artırılmaktadır. Çevreci Komşu Kart gibi projeler, bireylerin çevreye duyarlı davranışlar geliştirmesine katkıda bulunmakta ve atık

yönetimi gibi alanlarda toplumsal katılımı teşvik etmektedir (Aygül & Yıldız, 2018, s.89).

Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, gelecekte daha da güçlenerek devam edecektir. Bu süreçte, dijitalleşmenin rolü giderek artacak ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olarak kullanılacaktır. Türkiye, bu politikalarla hem çevresel performansını artırmayı hem de ekonomik kalkınmasını sürdürülebilir bir temelde sağlamayı amaçlamaktadır. Yeşil dönüşüm sürecinin başarısı, toplumun tüm kesimlerinin bu sürece aktif katılımı ve katkılarıyla mümkün olacaktır (Kır, 2020, s.155).

Son olarak, Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikalarının etkili bir şekilde uygulanabilmesi için hukuki altyapının güçlendirilmesi ve çevre mevzuatının uluslararası standartlara uygun olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, çevre hukuku alanında yapılan reformlar ve yasal düzenlemeler, Türkiye'nin yeşil dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye, bu süreçte, çevre koruma ilkelerini anayasal güvence altına alarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine daha hızlı ve etkili bir şekilde ulaşmayı amaçlamaktadır (Akdağ & Şiraz, 2021, s.95).

Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, hem yerel hem de küresel düzeyde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir katkı sunmaktadır. Bu politikalar, çevrenin korunması, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi kritik alanlarda Türkiye'yi öncü bir konuma taşımaktadır. Gelecekte, Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikalarının daha da güçlenmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir. Bu süreçte, dijitalleşmenin getirdiği yenilikler ve fırsatlar, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kilit bir rol oynayacaktır (Özçelik Baloğlu, 2023, s.1205).

Bu bakımdan, Türkiye'nin yeşil dönüşüm politikaları, çevre koruma, enerji verimliliği, atık yönetimi, dijitalleşme ve eğitim gibi alanlarda entegre bir yaklaşımla yürütülmektedir. Bu politikalar, Türkiye'nin çevresel performansını artırmayı ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır. Türkiye, bu süreçte hem ulusal hem de uluslararası düzeyde önemli adımlar atmakta ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kararlılıkla ilerlemektedir (Sezgin & Karabacak, 2020, s.25).

3.1.1. Anayasa Bağlamında Çevre Politikaları

Türkiye'de çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Anayasa, bir ülkenin temel hukuk metni olarak, devletin ve toplumun çevreye karşı sorumluluklarını belirlerken, bu alandaki politikaların da yasal dayanağını oluşturur. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, çevreye ilişkin temel prensipleri ve çevre koruma yükümlülüklerini açıkça ifade etmekte olup, çevre politikalarının uygulanmasında hukuki bir zemin sağlamaktadır.

1982 Anayasası'nın 56. maddesi, çevre hakkını ve çevrenin korunmasını anayasal bir hak ve sorumluluk olarak tanımlamaktadır. Bu maddeye göre, "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların ödevidir." Bu hüküm, devletin çevreyi koruma sorumluluğunu açıkça ortaya koymakta ve vatandaşların da çevreye karşı duyarlı olmalarını ve çevreyi koruma yükümlülüklerini vurgulamaktadır (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.85).

Anayasal düzenlemeler, çevre politikalarının uygulanmasında bağlayıcı bir rol oynamakta olup, Türkiye'deki çevre koruma stratejilerinin temelini oluşturmaktadır. Anayasa'nın çevreyle ilgili hükümleri, çevre politikalarının ulusal düzeyde benimsenmesini ve bu politikaların yasal çerçevede uygulanmasını sağlamaktadır. Özellikle, çevre politikalarının anayasal düzeyde tanımlanmış olması, bu alandaki yasal düzenlemelerin ve uygulamaların hukuki güvence altında olmasını temin etmektedir (Yılmaz Kandır & Yakar, 2017, s.163).

Anayasa, ayrıca çevre politikalarının sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda şekillendirilmesine de olanak tanımaktadır. Sürdürülebilir kalkınma, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların bir arada ele alınmasını gerektiren bir yaklaşım olup, Türkiye'nin çevre politikalarının temel bir unsuru haline gelmiştir. Anayasal düzenlemeler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi için çevre koruma önlemlerinin alınmasını zorunlu kılmakta ve bu kapsamda devletin çevre politikalarını etkin bir şekilde uygulamasını sağlamaktadır (Bem Yacoub, 2023, s.15).

Türkiye'de çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, aynı zamanda uluslararası çevre hukuku ve anlaşmaları ile uyumlu bir şekilde yürütülmektedir. Türkiye, çeşitli uluslararası çevre anlaşmalarına taraf olarak, bu alandaki

yükümlülüklerini anayasal düzeyde yerine getirmekte ve çevre koruma politikalarını uluslararası standartlar doğrultusunda şekillendirmektedir. Bu bağlamda, Anayasa, uluslararası anlaşmaların iç hukuka entegrasyonunu sağlamada kritik bir rol oynamakta ve çevre politikalarının ulusal ve uluslararası düzeyde tutarlılığını temin etmektedir (Kuloğlu & Öncel, 2015, s.10).

Anayasa, çevre koruma politikalarının uygulanmasında devletin sorumluluklarını belirlerken, aynı zamanda bireylerin ve toplumun da bu sürece aktif katılımını teşvik etmektedir. Anayasa'da yer alan çevre koruma yükümlülükleri, vatandaşların çevre bilincinin artırılmasını ve çevreye karşı sorumlu davranışların teşvik edilmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'de çevre politikalarının etkin bir şekilde uygulanması için toplumsal farkındalık ve katılımın sağlanması büyük bir öneme sahiptir (Köşker & Gürer, 2020, s.90).

Çevre politikaları, modern hukuk sistemlerinde toplumsal refahın sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir. Anayasaların çevre hakkını güvence altına alması, çevrenin korunmasına yönelik politikaların sağlam bir yasal dayanağa sahip olmasını sağlar. 1982 Anayasası'nda da çevre hakkına ve bu hak çerçevesinde devletin yükümlülüklerine yer verilmiştir. Çevre hakkı, sosyal ve ekonomik haklar kategorisinde değerlendirilerek devlete önemli görevler yüklemiştir; aynı zamanda bu hakların kullanımına ilişkin bazı sınırlamaların getirilmesine olanak tanımıştır (Köşker & Gürer, 2020, s.90). Bu bağlamda, Türkiye'de çevre politikalarının anayasal dayanağı ve uygulama süreci, çeşitli hukuki normlar ve kararlarla şekillenmiştir.

1982 Anayasası'nın 56. maddesi, herkesin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkını güvence altına almış, çevrenin korunması ve geliştirilmesi yükümlülüğünü hem devlete hem de bireylere yüklemiştir. Bu düzenleme, çevre hakkının yalnızca devlete yüklenmiş bir görev olmaktan ziyade, bireylerin de aktif katılımını öngörmesi açısından önemlidir. Anayasanın 56. maddesinde “çevre hakkı” terimi doğrudan kullanılsa da, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkı ile bu hak güvence altına alınmıştır. Ancak bu maddenin yorumlanmasında bazı tartışmalar gündeme gelmektedir. Nitekim, çevre hakkının ayrı bir madde ile düzenlenmeyip sağlık hizmetleri ile aynı başlık altında ele alınması, bu hakkın sistematik ve kavramsal açıdan ayrı bir statüye sahip olup olmadığını sorgulatan bir yapıya neden olmuştur (Köşker & Gürer, 2020, s.91).

Anayasaların çevre politikalarını şekillendirmesi sadece hakların ve yükümlülüklerin belirlenmesi ile sınırlı kalmamaktadır. Aynı zamanda, çevreye ilişkin hakların

sınırlandırılması konusu da anayasal düzenlemeler içerisinde yer almaktadır. 1982 Anayasası'nın 13. ve 65. maddeleri, sosyal ve ekonomik hakların devletin mali kaynakları ile sınırlı olarak yerine getirilebileceğini hükme bağlamıştır. Bu durum, çevre hakkının kullanılmasında da bazı kısıtlamaların gündeme gelebileceği anlamına gelmektedir. Ancak bu sınırlamaların hangi koşullarda ve ne ölçüde uygulanacağı sorunu, çevre politikalarının pratikteki uygulamasında çeşitli zorluklar yaratmaktadır. 65. madde, devletin sosyal ve ekonomik görevlerini, mali kaynaklarının yeterliliği ölçüsünde yerine getirmesi gerektiğini belirtirken, bu kaynakların yetersiz olduğu durumlarda çevre hakkının ihmal edilip edilemeyeceği tartışma konusudur (Köşker & Güner, 2020, s.92).

Çevre politikalarının anayasal çerçevesi, uluslararası normlarla da desteklenmekte ve devletin ulusal sınırlar içerisinde çevreyi koruma görevini yerine getirmesi beklenmektedir. Türkiye, birçok uluslararası çevre sözleşmesine taraf olarak çevre politikalarını bu anlaşmalarla uyumlu hale getirmeyi taahhüt etmiştir. Bu bağlamda, Türkiye'nin çevre politikalarının gelişiminde, Anayasa Mahkemesi'nin verdiği kararlar da önemli bir rol oynamaktadır. Anayasa Mahkemesi'nin çevre hakkına ilişkin kararları incelendiğinde, mahkemenin bu hakkı "sağlıklı ve dengeli bir çevre" kavramı üzerinden değerlendirdiği görülmektedir. Ancak bu değerlendirme, çevrenin tüm unsurlarını kapsayıcı bir nitelik taşımamakta; daha çok, çevrenin estetik unsurları ve doğal güzellikleri koruma altına alınmaktadır. Bu durum, çevre politikasının ekolojik dengeyi sağlayacak şekilde daha geniş bir çerçevede ele alınması gerektiğine işaret etmektedir (Köşker & Güner, 2020, s.93).

Anayasa Mahkemesi kararlarında, çevre hakkının sınırlandırılmasına ilişkin getirilen düzenlemeler de dikkate alınmıştır. Mahkeme, çevre hakkının yalnızca bir hak olarak değil, aynı zamanda devletin yükümlülüğü olarak da değerlendirilmesi gerektiğine vurgu yapmıştır. Nitekim, çevreyi koruma görevi, devletin anayasal sorumlulukları arasında yer almakta ve bu görev, sadece mali kaynakların yeterliliği ile sınırlı kalmamalıdır. Devlet, çevreyi koruma görevini yerine getirirken, ekonomik kalkınma hedeflerini çevre politikaları ile dengelemek zorundadır. Bu bağlamda, çevre hakkının korunması ve geliştirilmesi, ekonomik kalkınmanın önüne geçecek bir engel olarak değil, sürdürülebilir kalkınma ile uyumlu bir hedef olarak ele alınmalıdır (Köşker & Güner, 2020, s.94).

Türkiye’de çevre politikalarının anayasal bağlamda incelenmesi, 1982 Anayasası’nın sosyal haklar çerçevesinde çevreyi nasıl tanımladığı ve bu tanımların pratikte nasıl uygulandığını anlamak açısından önemlidir. Çevre hakkı, temel hak ve özgürlükler kapsamında ele alınmasına rağmen, sosyal ve ekonomik haklar arasında değerlendirilmesi, bu hakkın kullanımında bazı kısıtlamalara yol açmaktadır. Ancak çevre hakkının korunması, yalnızca devletin değil, bireylerin de sorumluluğundadır. Bu durum, çevre politikalarının toplumsal katılımı da içerecek şekilde yeniden şekillendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Köşker & Güner, 2020, s.95).

Türkiye’de çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, çevre koruma stratejilerinin güçlendirilmesine ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Anayasa’nın çevreyle ilgili hükümleri, çevre politikalarının yasal dayanağını oluşturmakta ve bu alandaki yasal düzenlemelerin etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye’nin çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, çevre koruma önlemlerinin güçlendirilmesine ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Yazıcıoğlu & Baştan Töke, 2022, s.345).

Bu bakımdan, Türkiye’de çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Anayasa, çevreye ilişkin temel prensipleri belirlemekte ve çevre koruma yükümlülüklerini açıkça tanımlamaktadır. Bu durum, çevre politikalarının yasal çerçevede uygulanmasını sağlamak ve Türkiye’nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunmaktadır (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s.35). Türkiye’nin çevre politikalarının anayasal çerçevede ele alınması, ulusal ve uluslararası düzeyde çevre koruma stratejilerinin güçlendirilmesine yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

1982 Anayasası, Türkiye’nin hukuki düzeninde çevre hakkını ve bu hakkın yürütülmesi ile ilgili çeşitli politikaları tanımlayan temel bir metindir. Anayasa, sosyal ve ekonomik haklar ile çevre hakkının korunması ve geliştirilmesi bağlamında devletin sorumluluklarını özellikle vurgulamaktadır (Köşker & Güner, 2020, s.90). Anayasa’nın 56. maddesi, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkını herkese tanıırken, aynı zamanda bu çevreyi koruma ve kirliliği önleme görevini hem devlete hem de vatandaşlara yüklemektedir.

1982 Anayasası'nın çevre hakkına ilişkin düzenlemeleri, sosyal devlet anlayışı çerçevesinde mali kaynakların yeterliliği ölçüsünde devlete özel görevler yüklemektedir. Bu düzenlemeler, özellikle ekonomik kalkınma projelerinin çevresel etkilerini dengelerken, çevre korumanın da sürdürülebilir bir biçimde nasıl entegre edileceğini belirtir (Anayasa m. 65). Anayasal çerçevede çevre hakkı, sadece korunma ve iyileştirme yükümlülükleriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda çevresel adalet ve erişimi de kapsamaktadır. Bu, Anayasa Mahkemesi'nin kararlarına yansımış olup, çevre hakkının yorum ve uygulamalarında belirleyici olmuştur (AYM, E. 2011/110, K. 2012/79, 24.05.2012).

1982 Anayasası, çevre politikalarını yürütme bakımından mali sınırlamalarla birlikte ele alır. Anayasa'nın 65. maddesi, devletin çevreyle ilgili görevlerini mali imkanlar çerçevesinde sınırlandırarak, ekonomik ve sosyal hedefler arasında bir denge kurulmasını öngörür. Ancak bu sınırlama, çevre hakkının temel unsurlarını zedelememelidir. Bu bağlamda, Anayasa Mahkemesi, çevre politikalarının yürütülmesinde gerekli olan kaynak tahsisinin önceliklerine dikkat çekerken, çevresel hedeflere ulaşmada esneklik sağlanması gerektiğini vurgular (AYM, çevre hakkının konusu için ekolojik açıdan dengeli bir çevre kavramını kullanmamakta; çevre hakkıyla herkes için ekolojik olarak dengeli bir çevrenin amaçlandığı hususuna Anayasanın 56. maddesine uygunluk denetimi yaptığı kararlarında değinmemektedir, 2008/51, K. 2011/46).

Anayasa Mahkemesi'nin çevre hakkı kararları, çevre politikalarının anayasal çerçevede nasıl ele alınması gerektiğine dair önemli örnekler sunar. Mahkeme, sağlıklı ve dengeli bir çevrenin, doğal güzelliklerin korunmasını ve sanayileşme ile kentleşmenin getirdiği zararların minimizasyonunu içerdiğini belirtir. Bu, çevre hakkının hem koruyucu hem de önleyici yönlerini güçlendirir ve devletin bu yönde proaktif politikalar geliştirmesini talep eder. Mahkemenin, çevresel etkileri azaltıcı madencilik faaliyetlerine ilişkin kararları da çevre politikalarının uygulanışında mihenk taşı olarak değerlendirilmektedir (AYM, 3213 sayılı Maden Kanunu'nun ek 1. maddesinin 4. fıkrasında yer alan bir ibarenin Anayasa'nın 56. maddesine aykırılığı iddiasını incelediği dava kapsamında, madencilik faaliyetlerinin çevre hakkı kapsamında değerlendirilebileceğine karar vermiştir).

3.1.2. Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Programları

Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği programları, Türkiye'nin enerji politikalarının merkezinde yer almakta olup, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de enerji güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Türkiye, fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmak, karbon emisyonlarını düşürmek ve enerji arzını çeşitlendirmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmekte ve enerji verimliliğini artırıcı programlar uygulamaktadır. Bu çabalar, Türkiye'nin çevresel hedeflerine ulaşmasında ve uluslararası taahhütlerini yerine getirmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji stratejisi, güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal gibi temiz enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır. 2000'li yılların başından itibaren Türkiye, yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmış ve bu alanda çeşitli teşvik mekanizmaları geliştirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden yasal düzenlemeler, yatırımcılar için cazip bir ortam yaratmış ve bu durum, Türkiye'nin enerji portföyünde yenilenebilir enerjinin payını önemli ölçüde artırmıştır (Yılmaz, 2022, s.25).

Güneş enerjisi, Türkiye'nin en potansiyel dolu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla yüksek güneş ışınımı potansiyeline sahip olup, bu potansiyeli değerlendirmek amacıyla güneş enerjisi santralleri kurulumunu teşvik etmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi kapasitesi, son yıllarda hızla artmış ve bu alandaki yatırımlar giderek büyümüştür. Güneş enerjisinin yanı sıra, rüzgar enerjisi de Türkiye'nin enerji stratejisinde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle Ege ve Marmara bölgeleri, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından zengin olup, bu bölgelerde kurulan rüzgar enerjisi santralleri ile Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesi artırılmaktadır (Balbay, Sarıhan & Avşar, 2021, s.560).

Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği, 21. yüzyılın en önemli enerji politikaları arasında yer almakta ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Bu politikalar, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması amacıyla geliştirilmektedir. Özellikle Türkiye gibi enerji ithalatına bağımlı ülkelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye sokulması ve enerji verimliliği programlarının uygulanması, enerji arz güvenliği açısından da stratejik bir öneme sahiptir (Köşker & Gürer, 2020, s.90). Bu bağlamda Türkiye, ulusal ve uluslararası hedefleri doğrultusunda enerji politikasında büyük bir dönüşüm

gerçekleştirmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımları artırmakta ve enerji verimliliğini teşvik eden programlar geliştirmektedir.

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlardan farklı olarak doğada kendini sürekli yenileyen enerji kaynaklarından elde edilen enerji türünü ifade etmektedir. Bu enerji türleri arasında güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal ve okyanus enerjisi yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük avantajı, çevre dostu olmaları ve sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyelidir. Özellikle küresel iklim değişikliği ile mücadele bağlamında, yenilenebilir enerji kullanımı büyük önem arz etmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılmasına yönelik politikalar geliştirmekte olup, bu alanda önemli ilerlemeler kaydetmiştir (Köşker & Gürer, 2020, s.91).

2010'lu yıllardan itibaren Türkiye, yenilenebilir enerji sektöründe büyük bir büyüme göstermiştir. 2023 yılı hedefleri doğrultusunda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesini artırmaya yönelik yatırımları hız kazanmıştır. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli dikkate alınarak, bu alanlara yapılan yatırımların payı her geçen yıl artmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesini artırma politikaları kapsamında, rüzgar ve güneş enerjisine yapılan yatırımlar, hem yerli üretimi teşvik etmekte hem de dışa bağımlılığı azaltmaktadır. Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla yerli kaynaklara yönelmesi, yenilenebilir enerji sektöründe büyük bir atılım yapmasına neden olmuştur (Köşker & Gürer, 2020, s.92).

Enerji verimliliği, kullanılan enerji miktarının azaltılması ve aynı miktarda iş üretmek için daha az enerji kullanılması anlamına gelir. Enerji verimliliği politikaları, hem çevresel etkileri azaltma hem de ekonomik büyümeyi destekleme açısından büyük önem taşır. Enerji verimliliği ile hem enerji maliyetleri düşürülmekte hem de enerji arz güvenliği sağlanmaktadır. Türkiye, 2023 ve 2030 yılları için enerji verimliliği stratejilerini güçlendirmiş ve bu alanda önemli adımlar atmıştır.

Türkiye, "Enerji Verimliliği 2030 Strateji Belgesi" ile enerji verimliliğini artırmak için kapsamlı bir eylem planı hazırlamıştır. Bu strateji belgesinde, sanayi ve teknoloji, bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, tarım ve dijitalleşme gibi 7 ana tematik başlıkta enerji verimliliğini artırmaya yönelik 61 eylem ve 266 faaliyet belirlenmiştir. Bu faaliyetler, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu azaltarak hem enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını hem de sera gazı emisyonlarının düşürülmesini hedeflemektedir (Köşker & Gürer, 2020, s.93).

Türkiye, enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak amacıyla önemli yatırımlar yapmaktadır. 2017-2023 döneminde uygulanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) kapsamında, enerji verimliliği alanında 23,9 MTEP enerji tasarrufu sağlanması ve bu tasarrufların hayata geçirilmesi için 10,9 milyar ABD doları yatırım yapılması hedeflenmiştir. UEVEP'in başarıyla uygulanması neticesinde 24,6 MTEP enerji tasarrufu sağlanmış ve bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için 8,5 milyar ABD doları yatırım yapılmıştır (Köşker & Gürer, 2020, s.94). Bu kapsamda, Türkiye 2023 enerji verimliliği hedeflerini belirlenen süreden önce yakalayarak enerji yoğunluğunu %20,4 oranında düşürmeyi başarmıştır.

2024-2030 yıllarını kapsayan II. UEVEP ise, Türkiye'nin birincil enerji tüketimini %16 oranında azaltmayı ve kümülatif olarak 37,1 MTEP birincil enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemektedir. Bu dönemde yapılacak yatırımların toplamda 20,2 milyar ABD doları olacağı öngörülmektedir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesiyle, Türkiye'nin karbon salımında 100 milyon ton CO₂ azaltımı sağlanacağı ve 2053 yılı için belirlenen net sıfır emisyon hedefine yönelik önemli bir adım atılmış olacağı hesaplanmaktadır (Köşker & Gürer, 2020, s.95).

Enerji verimliliği, iklim değişikliği ile mücadelede kilit rol oynayan stratejilerden biridir. Türkiye, enerji verimliliğini artırarak fosil yakıt kullanımını azaltmakta ve sera gazı emisyonlarını düşürmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji verimliliği arasındaki uyum, Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelesinde etkin bir araç haline gelmiştir. Paris İklim Anlaşması'nın imzalanmasının ardından, Türkiye, enerji politikalarını daha çevreci bir yapıya dönüştürmekte ve karbon nötr hedeflerine ulaşma yolunda önemli adımlar atmaktadır (Köşker & Gürer, 2020, s.96).

Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği programları, Türkiye'nin enerji politikasının temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Bu politikaların başarılı bir şekilde uygulanması, hem çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması hem de enerji arz güvenliğinin korunması açısından büyük bir öneme sahiptir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak fosil yakıt bağımlılığını azaltmayı ve enerji verimliliği programları ile enerji tasarrufunu en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. 2030 hedefleri doğrultusunda atılan adımlar, Türkiye'nin hem enerji sektöründe daha rekabetçi hale gelmesine hem de iklim değişikliği ile mücadelesinde önemli ilerlemeler kaydetmesine olanak tanıyacaktır (Köşker & Gürer, 2020, s.97).

Enerji verimliliği, Türkiye'nin enerji politikalarının bir diğer önemli bileşenidir. Enerji verimliliği programları, enerji tüketiminin azaltılması, enerji yoğunluğunun düşürülmesi ve enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını hedeflemektedir. Türkiye, enerji verimliliği alanında çeşitli yasal düzenlemeler ve teşvik mekanizmaları geliştirmiş olup, bu programlar enerji tüketiminin optimize edilmesine yönelik önemli adımlar içermektedir. Özellikle sanayi, bina ve ulaşım sektörlerinde enerji verimliliği önlemleri, enerji tüketimini azaltma ve çevresel etkileri minimize etme açısından büyük önem taşımaktadır (Doğan, 2022, s.54).

Türkiye, enerji verimliliğini artırmak amacıyla enerji yönetimi sistemlerini yaygınlaştırmakta ve enerji performansını izleme, ölçme ve iyileştirme süreçlerini desteklemektedir. Bu kapsamda, Enerji Verimliliği Kanunu ve ilgili yönetmelikler çerçevesinde enerji verimliliği projelerine yönelik teşvikler sağlanmakta ve bu projeler, enerji tasarrufu sağlama ve enerji maliyetlerini düşürme amacıyla hayata geçirilmektedir. Ayrıca, enerji verimliliği sertifikasyon programları, enerji verimliliği konusunda farkındalık yaratma ve bilinçlendirme çalışmalarının bir parçası olarak uygulanmaktadır (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s.28).

Türkiye'nin enerji politikaları, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak için uluslararası işbirliklerine de büyük önem vermektedir. Türkiye, Avrupa Birliği ile enerji alanında işbirliği yaparak, AB'nin enerji politikaları ve hedefleri doğrultusunda kendi enerji stratejilerini geliştirmektedir. Bu işbirlikleri, Türkiye'nin enerji verimliliği alanında kapasite geliştirmesine ve yenilenebilir enerji projelerini finanse etmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, Türkiye, enerji verimliliği alanında çeşitli uluslararası projelere katılmakta ve bu projelerden elde edilen bilgi birikimini ulusal düzeyde uygulamaya koymaktadır (Alizada, 2022, s.7).

Bu bakımdan, Türkiye'nin yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği programları, ülkenin enerji güvenliğini artırma, fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma açısından büyük bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması ve enerji verimliliği programlarının etkin bir şekilde uygulanması, Türkiye'nin çevresel hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu programlar, enerji tüketiminin azaltılması, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi gibi birçok fayda sağlamakta olup, Türkiye'nin enerji politikalarının sürdürülebilirlik temelinde şekillenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji stratejilerinin yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği

odaklı olarak güçlendirilmesi, gelecekteki enerji ihtiyaçlarının karşılanması ve çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir (Sapmaz Veral, 2021, s.12).

3.1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye, son yıllarda enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına önemli bir ağırlık vererek, fosil yakıtlara bağımlılığını azaltma ve sürdürülebilir enerji politikalarını benimseme yönünde adımlar atmıştır. Bu bağlamda, güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden politikalar geliştirilmiştir. Türkiye'nin enerji stratejisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan vurgu, hem enerji güvenliğinin sağlanması hem de çevresel sürdürülebilirliğin artırılması açısından büyük bir öneme sahiptir (Yılmaz, 2022, s.19).

Güneş enerjisi, Türkiye'nin coğrafi konumundan dolayı büyük bir potansiyele sahip olup, özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yoğun güneşlenme süresi ile dikkat çekmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, ülkenin yıllık toplam elektrik üretim kapasitesinin önemli bir kısmını karşılayabilecek düzeyde olup, bu potansiyelin değerlendirilmesi için çeşitli teşvikler ve destek mekanizmaları uygulanmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin kurulumu ve fotovoltaik panellerin yaygınlaştırılması, Türkiye'nin güneş enerjisi kapasitesinin hızla artmasına olanak tanımıştır (Balbay, Sarıhan & Avşar, 2021, s.563).

Rüzgar enerjisi de Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle Ege, Marmara ve Akdeniz bölgeleri, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından zengin olup, bu bölgelerde kurulan rüzgar enerji santralleri ile Türkiye'nin yenilenebilir enerji portföyü genişletilmiştir. Rüzgar enerjisi, karbon emisyonlarını azaltma ve enerji arz güvenliğini sağlama noktasında önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye, rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu için yerli ve yabancı yatırımcıları teşvik etmekte ve bu alanda gerekli altyapı yatırımlarını yapmaktadır. 2020 yılında Türkiye'nin rüzgar enerjisi kapasitesi, toplam enerji üretiminde önemli bir paya sahip olmuş ve bu kapasite her yıl artmaya devam etmektedir (Alizada, 2022, s.8).

Hidroelektrik enerji ise Türkiye'nin yenilenebilir enerji stratejisinde en köklü ve en yaygın kullanılan kaynaklardan biridir. Türkiye, coğrafi yapısı ve su kaynakları sayesinde hidroelektrik enerji üretiminde önemli bir kapasiteye sahiptir. Özellikle büyük nehirler ve barajlar üzerine kurulan hidroelektrik santraller, Türkiye'nin elektrik

retiminde uzun yıllardır önemli bir yer tutmaktadır. Hidroelektrik enerjinin avantajları arasında düşük işletme maliyetleri, enerji depolama kapasitesi ve evre dostu bir enerji kaynağı olması bulunmaktadır. Ancak, hidroelektrik enerji projeleri, zaman zaman çevresel ve sosyal sorunlara yol açabilmekte, bu nedenle çevresel etkilerin dikkatlice değerlendirilmesi ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olarak planlanması gerekmektedir (Yılmaz Kandır & Yakar, 2017, s.162).

Jeotermal enerji, Türkiye'nin sahip olduğu bir diğer önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye, jeotermal kaynaklar bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden biri olup, bu potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli projeler geliştirilmiştir. Jeotermal enerji, özellikle ısınma ve elektrik üretimi alanında kullanılarak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma ve çevresel sürdürülebilirliği artırma noktasında büyük bir rol oynamaktadır. Türkiye, jeotermal enerji projelerini desteklemek için yasal ve düzenleyici erveyi glendirmi ve bu alanda yerli ve yabancı yatırımcıları teşvik etmektedir (İpekçi & Köse, 2021, s.1012).

Biyokütle enerjisi ise Türkiye'de gelişmekte olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle, organik atıkların enerjiye dönüştürülmesi suretiyle elde edilen bir enerji kaynağı olup, özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların değerlendirilmesi ile enerji üretiminde kullanılmaktadır. Biyokütle enerjisi, hem atık yönetimi sorunlarının çözümüne katkıda bulunmakta hem de yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Türkiye, biyokütle enerjisi projelerini desteklemek amacıyla çeşitli teşvikler sunmakta ve bu alanda teknolojik gelişmeleri teşvik etmektedir (zelik Balğlu, 2023, s.1195).

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, ülkenin enerji arz güvenliğini artırmak ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji projeleri, enerji sektöründeki dışa bağımlılığı azaltmakta ve aynı zamanda karbon emisyonlarını düşürerek iklim değerliliği ile mücadelede önemli bir katkı sağlamaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin bir şekilde değerlendirmek için gerekli yasal ve düzenleyici erveyi oluturmu, bu alanda yatırımcıları teşvik eden çeşitli mekanizmalar geliirmitir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, Türkiye'nin enerji politikasında sürdürülebilirlik temelinde killenen bir dönüşümün anahtarı olarak görülmektedir (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.85).

Bu bakımdan, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik politikaları, enerji güvenliğini sağlamanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliği artırmak için hayati bir öneme sahiptir. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların kullanımı, Türkiye'nin enerji portföyünü çeşitlendirmekte ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu politikalar, Türkiye'nin enerji stratejisinde yenilenebilir enerjiye olan bağlılığını göstermekte ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarının sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasına katkıda bulunmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır (Satır Reyhan & Duygu, 2015, s.35).

3.1.3. Türkiye'nin Yeşil Dönüşüm Girişimleri

Türkiye'nin yeşil dönüşüm yol haritası, küresel iklim rejiminin evrimsel basamaklarıyla senkronize biçimde şekillenmektedir; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 1994'te yürürlüğe girmesinden itibaren taraf devlet sıfatıyla iklim diplomasisinin “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesini iç hukuka tercüme etme çabası, ulusal planlama geleneğinin ana akımlarından biri hâline gelmektedir (Birleşmiş Milletler, 1992, s. 8). 1997 tarihli Kyoto Protokolü'nü 2009'da iç hukuk onayına tâbi tutan Türkiye, gelişmekte olan ülke statüsünü koruyarak “taahhüt almayan Ek-I dışı taraf” konumunda esnek politika alanı yaratmaktadır; ancak 2015 Paris Anlaşması'nın evrensel kapsamlı net-sıfır vizyonu, ulusal sera gazı azaltım taahhüdünü iyileştirme baskısını dramatik biçimde artırmaktadır (UNFCCC, 1998, s. 12; UNFCCC, 2015, s. 2). Paris Anlaşması'nın Türkiye tarafından 2021'de onaylanması ile “2053 net-sıfır” hedefi Cumhurbaşkanlığı siyasa beyanları üzerinden stratejik ufuk çizgisine dönüşmekte ve iklim politikası, kalkınma planlamasının zorunlu parametresi hâline gelmektedir (Cumhurbaşkanlığı, 2021, s. 4).

Bu dönüşüm süreci, 2021 tarihli “Avrupa Yeşil Mutabakatı Eylem Planı”nın yürürlüğe girmesiyle ticaret-rekabet ekseninde ivme kazanmaktadır; zira Avrupa Birliği'nin Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması, Türkiye'nin ihracatının neredeyse yarısını oluşturan AB pazarında karbon fiyatı riskini fiilî maliyet unsuruna dönüştürmektedir (European Commission, 2019, s. 13). Ticaret Bakanlığı koordinasyonunda hazırlanan eylem planı, lojistik yeşilleşme, sınırdaki karbon yönetimi, sürdürülebilir finans ve yeşil AR-GE gibi dokuz ana eksen üzerinden kurumsal yol haritası belirlemekte; sanayi

politikası ile çevre politikasını ilk kez aynı eylem setine dâhil etmektedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021, s. 37). Böylece dış ticaret rekabetçiliği, karbon ayak izini içsel değişken kabul eden yeni bir endüstriyel stratejiye bağlanmaktadır.

Yeşil dönüşümün normatif çapasını 2025'te yürürlüğe giren 7552 sayılı İklim Kanunu oluşturmaktadır; Kanun, sera gazı emisyon üst sınırı (cap), Emisyon Ticaret Sistemi, karbon piyasası gelirlerinin yeşil projelere tahsisi ve il düzeyinde iklim eylem planı zorunluluğu gibi araçlarla “hukuki bağlayıcılık” boyutunu tesis etmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23). Kanun’un “adil geçiş” ilkesi, kömür yoğun bölgelerde istihdam kaybını sosyal koruma mekanizmalarıyla telafi etmeyi öngörmekte; böylece karbon-yoğun değer zincirlerinin dönüşümünde bölgesel kalkınma politikalarını iklim hedefleriyle bütünleştirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Kanun’un ikincil mevzuatı niteliğindeki “Ulusal Karbon Kredisi Standardı Tebliği” ve “İklim Kanunu Uygulama Yönetmeliği”, gönüllü karbon piyasasına katılımı düzenleyerek yenilikçi finansman olanakları yaratmaktadır (ÇŞİDB, 2024, s. 18).

Resmî planlama perspektifinde en güncel stratejik çerçeve, On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) ile somutlaşmaktadır. Planın “Sürdürülebilir Yeşil ve Dijital Dönüşümle Rekabetçi Üretim” eksenini, 2030’a kadar kişi başı sera gazı emisyonunu %35 azaltma, yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını %65’e çıkarma ve yeşil finansman hacmini 500 milyar TL’ye yükseltme hedeflerini içermektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı SBB, 2023, s. 102). Plan, yeşil dönüşümün sektörel yol haritalarını ayrıntılı biçimde tarif etmektedir:

- Enerjide kademeli kömürden çıkış, 2030’a kadar 4 GW batarya depolama, 5 GW yeşil hidrojen elektrolizör kapasitesi;
- Ulaştırmada 2028 sonu itibarıyla elektrikli araç satış payını %35’e, şarj istasyonu sayısını 200 bine çıkarma;
- Sanayide zorunlu ürün çevresel beyanı (EPD) ve karbon ayak izi etiketi uygulaması;
- Tarımda 5 milyon hektar alanda rejeneratif uygulama ve biyolojik çeşitlilik koridorlarının oluşturulması;
- Bina ve yerleşmelerde uluslararası Nearly Zero-Energy Building (nZEB) standardının yeni yapı ruhsatlarında zorunluluğu (T.C. Cumhurbaşkanlığı SBB, 2023, s. 115).

Plan, ayrıca Emisyon Ticaret Sistemi gelirlerinin en az %50'sini "Yeşil Dönüşüm Fonu"na yönlendirerek teknoloji AR-GE, iklim uyum altyapıları ve sosyal koruma bileşenlerini ortak finansman havuzunda birleştirmektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı SBB, 2023, s. 119). Böylelikle kalkınma planlaması, yeşil dönüşümü kamu yatırımı-özel sermaye bileşenli hibrit bir finansal mimariyle bütünleştirmektedir.

Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Stratejisi (2024) Paris Anlaşması gereğince sunulan resmî beyan niteliğinde olup "2053 net-sıfır" hedefine giden ara patikaları ortaya koymaktadır: 2030'da BAU'ya göre %41 azaltım, 2035'te emisyon tepe noktası, 2040'ta enerji sektöründe karbon-nötr elektrik ve 2050'de negatif emisyon teknolojilerinin sanayiye entegrasyonu (ÇŞİDB, 2024, s. 12). Strateji, karbon yakalama-kullanma-depolama (CCUS) tesisleri, yeşil hidrojen koridorları ve döngüsel ekonomi sanayi bölgeleri için fizibilite-altyapı projeksiyonlarını içermekte; yatırım ihtiyacını 2030'a kadar 250 milyar ABD doları olarak öngörmektedir (ÇŞİDB, 2024, s. 28). Bu sermaye açığının kapatılmasında, 2022'de yürürlüğe giren "Sürdürülebilir Finans Taksonomisi Yönetmeliği" kritik rol oynamaktadır; yönetmelik, bankacılık sektöründe yeşil tahvil ve sürdürülebilir kredi hacmini artırarak sermayeyi düşük karbonlu projelere yönlendirmeyi hedeflemektedir (BDDK, 2022, s. 53).

Yeşil dönüşüm ekosistemi, sanayi stratejilerini de yeniden şekillendirmektedir. 2022'de yayımlanan "Türkiye Yeşil Sanayi Eylem Planı", demir-çelik, çimento, tekstil ve kimya sektörlerinde enerji verimliliği zorunlu eylem kartları, yeşil OSB sertifikasyonu ve karbon yoğun süreçlerde elektrifikasyon teşvikleri gibi somut adımlar tanımlamaktadır (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022, s. 41). Plan, ayrıca 2030'a kadar yeşil hidrojen maliyetini 2 \$/kg seviyesine düşürme ve çelik proseslerinde hidrojen bazlı doğrudan indirgeme teknolojisine geçiş için pilot tesis kurma hedeflerini içermektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022, s. 44).

Ulaştırma tarafında "Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi" ve "Elektrikli ve Hibrit Araçlar Yol Haritası" 2021'de güncellenerek yeşil dönüşüm hedefleri ile senkronize edilmektedir; 2025'te TOGG'un seri üretimiyle yerli elektrikli araç ekosistemi sanayi politikası mertebesine yükselmekte, elektrikli otobüs ve minibüs üretimini destekleyen KOSGEB teşvikleri devreye alınmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022, s. 68). Aynı zamanda, Sektörel Enerji Verimliliği Protokolleri aracılığıyla demiryolu ve denizyolu taşımacılığında enerji yoğunluğu endeksinin %15 düşürülmesi hedeflenmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022, s. 73).

Tarım ve kırsal kalkınma boyutunda “Ulusal İklim Dostu Tarım Stratejisi” (2023) toprağın organik karbon stokunu güçlendiren konservasyon (no-tillage) teknikleri, su verimliliğini artıran basınçlı sulama sistemleri ve düşük metan emisyonlu yem katkılarını yaygınlaştırmayı planlamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023, s. 27). Strateji, “Karbon Tarımı Sertifikasyon Programı” ile karbon piyasasına tarımsal denkleştirme kredisi arzını teşvik ederek çiftçi gelirini çeşitlendirmeyi öngörmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023, s. 34). Böylece tarımsal üretim, yeşil finansman ve karbon piyasası arasında yeni bir değer zinciri oluşmaktadır.

Türkiye’nin ulusal finans piyasaları da yeşil dönüşüm kurgusuyla yeniden biçimlenmektedir. 2020’de Borsa İstanbul’da açılan “Yeşil ve Sürdürülebilir Tahvil Piyasası”, 2024 ortası itibarıyla 6 milyar dolar ihraca ulaşmış; Hazine’nin 2023’te ihraç ettiği ilk “yeşil eurobond” 2,5 kat talep görmüştür (HMB, 2024, s. 11). 2022’de kurulan “Yeşil Dönüşüm ve Teknoloji Fonu” ise TÜBİTAK destekli Ar-Ge projelerini ölçekleyerek yeşil start-up ekosistemini beslemektedir (TÜBİTAK, 2024, s. 19).

Uyum (adaptasyon) ekseninde Türkiye, “Ulusal İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi”ni 2023’te revize ederek afet riski yüksek bölgelerde yeşil altyapı çözümleri, doğa temelli sel kontrolü ve iklim-akıllı kentsel planlama ilkelerini benimsemektedir (ÇŞİDB, 2023, s. 57). Kahramanmaraş merkezli 2023 depremleri sonrası hazırlanan “Dayanıklı Şehirler Programı”, yeşil dönüşümle afet dayanıklılığını entegre eden tasarım kodlarını ülke ölçeğine yayma amacındadır (AFAD, 2024, s. 14).

3.2. Sıfır Atık ve Sürdürülebilir Şehircilik İnisiyatifleri

Türkiye, çevre politikalarında önemli bir adım atarak "Sıfır Atık" ve "Sürdürülebilir Şehircilik" inisiyatiflerini hayata geçirmiştir. Bu girişimler, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla tasarlanmıştır. Sıfır Atık Projesi, özellikle atık yönetimi ve geri dönüşüm konusunda farkındalık yaratmayı hedeflerken, sürdürülebilir şehircilik, kentleşmenin çevreye olan etkilerini minimize etmeyi amaçlamaktadır (Aygül & Yıldız, 2018, s.81).

Sıfır Atık Projesi, Türkiye’de 2017 yılında Cumhurbaşkanlığı tarafından başlatılan ve kısa sürede ülke genelinde yaygınlaşan bir çevre hareketidir. Bu proje, atık oluşumunu en aza indirmeyi, oluşan atıkları kaynağında ayrıştırarak geri dönüştürmeyi ve böylece çevresel etkileri azaltmayı hedeflemektedir. Proje kapsamında, kamu kurumları, özel sektör, yerel yönetimler ve bireyler arasında geniş bir katılım sağlanmıştır. Türkiye’nin

atık yönetimi konusundaki bu kararlı tutumu, hem ulusal hem de uluslararası alanda büyük takdir toplamış ve örnek bir model olarak gösterilmiştir (Bozkurt, 2016, s.279).

Sıfır Atık Projesi'nin temelinde, atıkların kaynağında ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesi bulunmaktadır. Bu bağlamda, plastik, cam, metal, kağıt gibi geri dönüştürülebilir malzemelerin atık haline gelmeden önce ayrıştırılması, geri dönüşüm sürecinin etkinliğini artırmaktadır. Türkiye'de bu amaçla birçok belediye, geri dönüşüm konteynerleri ve atık toplama sistemleri kurmuş, halkın bu konuda bilinçlenmesi için eğitim kampanyaları düzenlemiştir. Sıfır Atık Projesi'nin başarısı, bu tür altyapı yatırımlarının yanı sıra, bireylerin ve toplumun bu sürece aktif katılımı ile mümkün olmaktadır (Göksel & Yanmaz, 2011, s.45).

Bunun yanı sıra, sürdürülebilir şehircilik inisiyatifleri, kentlerin daha çevre dostu ve yaşanabilir hale getirilmesini amaçlamaktadır. Sürdürülebilir şehircilik, kentleşmenin çevresel etkilerini minimize etmeyi ve doğal kaynakların korunmasını ön planda tutmayı hedefler. Bu kapsamda, yeşil alanların artırılması, enerji verimliliğinin sağlanması, ulaşım sistemlerinin sürdürülebilir hale getirilmesi gibi birçok önemli adım atılmaktadır. Türkiye'de son yıllarda büyük şehirlerde yeşil alanların genişletilmesi, enerji verimli binaların inşa edilmesi ve çevre dostu ulaşım araçlarının teşvik edilmesi gibi uygulamalar hayata geçirilmiştir (Özgüven Tayfun & Ölçü, 2016, s.188).

Türkiye'de sürdürülebilir şehircilik alanında atılan önemli adımlardan biri, kentsel dönüşüm projeleridir. Bu projeler, eskiyen ve depreme dayanıksız binaların yıkılarak yerine çevreye duyarlı ve enerji verimli binaların inşa edilmesini içermektedir. Kentsel dönüşüm projeleri, sadece yapı güvenliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de sağlamaktadır. Türkiye, bu alanda yerel yönetimler aracılığıyla çeşitli projeler geliştirmiş ve bu projeleri hayata geçirmiştir. Kentsel dönüşüm projeleri, hem şehirlerin modernleşmesine hem de çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Yılmaz, 2022, s.21).

Sürdürülebilir şehircilik inisiyatiflerinin bir diğer önemli unsuru da akıllı şehir projeleridir. Akıllı şehirler, bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegre edildiği, çevre dostu, enerji verimli ve yaşam kalitesini artıran şehirler olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de de birçok şehir, akıllı şehir projelerini hayata geçirmekte ve bu projeler sayesinde enerji tasarrufu sağlamakta, ulaşım sistemlerini optimize etmekte ve çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır. Akıllı şehir projeleri, sürdürülebilir kalkınma

hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamakta ve Türkiye'nin çevresel politikalarına katkı sağlamaktadır (Sapmaz Veral, 2019, s.470).

Türkiye'de sıfır atık ve sürdürülebilir şehircilik inisiyatiflerinin başarılı olabilmesi için toplumun tüm kesimlerinin bu sürece dahil edilmesi gerekmektedir. Özellikle yerel yönetimlerin, sivil toplum kuruluşlarının, özel sektörün ve bireylerin bu projelere destek vermesi, projelerin uzun vadeli başarısını sağlayacaktır. Sıfır Atık Projesi ve sürdürülebilir şehircilik inisiyatifleri, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu projeler, aynı zamanda Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelesine de önemli katkılar sunmaktadır (Yaş, 2022, s.75).

Bu bakımdan, Türkiye'nin sıfır atık ve sürdürülebilir şehircilik inisiyatifleri, çevresel sürdürülebilirliği sağlama ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakma amacıyla hayata geçirilmiş önemli projelerdir. Bu projeler, atık yönetimi, kentsel dönüşüm, akıllı şehirler ve çevre dostu ulaşım sistemleri gibi birçok alanda önemli adımlar atılmasını sağlamış ve Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik politikalarına büyük katkılar sunmuştur. Gelecekte bu tür projelerin yaygınlaştırılması ve daha da geliştirilmesi, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir etken olacaktır (Doğan, 2022, s.52).

3.2.1. Sıfır Atık Projesi

Sıfır Atık Projesi, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, kaynakların daha etkin kullanılması ve atıkların azaltılması amacıyla geliştirilmiş kapsamlı bir çevre koruma stratejisidir. Bu proje, atıkların oluşumunu minimize etmeyi, geri kazanım süreçlerini teşvik etmeyi ve çevre bilincini artırmayı hedefler. Türkiye'de 2017 yılında başlatılan proje, hane halkından kurumlara kadar tüm toplumsal katmanları kapsayarak atık yönetiminde dönüşüm sağlamaktadır (Köşker & Gürer, 2020, s.90). Proje, geri dönüşüm oranlarını artırarak doğal kaynakların korunmasını ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasını amaçlamaktadır (Cumhurbaşkanlığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2024).

Projenin temeli, hiyerarşik bir yaklaşım üzerine kuruludur. Öncelikle atıkların kaynağında azaltılması hedeflenmekte, daha sonra geri dönüşüm ve enerji üretimi süreçleri devreye girmektedir. Atıkların etkin bir şekilde yönetilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için kritik bir rol oynamaktadır. Proje, çeşitli kamu kuruluşları ve özel sektör iş birliği ile yürütülmekte, bireysel ve kurumsal katılım teşvik

edilmektedir. Bu doğrultuda, hane halkının geri dönüşüm alışkanlıklarının geliştirilmesi ve kurumların atık yönetim süreçlerinde daha etkin rol alması beklenmektedir (Köşker & Güner, 2020, s.91).

Sıfır Atık Projesi'nin uygulanmasında kamu bilincini artıran eğitim ve farkındalık kampanyaları da hayati bir rol oynamaktadır. Eğitim kurumlarından kamu kuruluşlarına, yerel yönetimlerden bireysel hanelere kadar geniş bir katılım ağıyla yürütülen proje, ulusal düzeyde bir çevre seferberliği haline gelmiştir. Bu bağlamda, Sıfır Atık Projesi'nin tüm toplumsal kesimleri kapsayan geniş ölçekli bir çevre yönetim politikası olduğu söylenebilmektedir (Köşker & Güner, 2020, s.94).

Sıfır Atık Projesi, yalnızca atık yönetimi odaklı bir girişim olmanın ötesinde, Türkiye'nin döngüsel ekonomi modeline geçişine de katkı sağlamaktadır. Döngüsel ekonomi, kaynakların etkin kullanımını sağlamak, israfı azaltmak ve ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmak amacıyla geliştirilen bir ekonomi modelidir. Bu modelde, ürünler ve materyaller mümkün olduğunca uzun süre kullanılmakta, ardından geri dönüştürülerek yeniden üretime kazandırılmaktadır (Köşker & Güner, 2020, s.95). Sıfır Atık Projesi, bu bağlamda Türkiye'nin ekonomik kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlayan bir girişimdir.

Proje kapsamında yapılan yatırımlar ve teşvikler, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik kazançlar da sağlamaktadır. Atıkların geri dönüştürülmesi, hammaddelerin yeniden kullanımını teşvik ederek ithalat bağımlılığını azaltmakta ve yerel üretimi desteklemektedir. Bu süreç, Türkiye'nin kaynak verimliliğini artırarak uluslararası rekabet gücünü yükseltmektedir (Köşker & Güner, 2020, s.96).

Sıfır Atık Projesi, Türkiye'nin çevre politikalarının en önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Proje, atık yönetimi, geri dönüşüm, denizlerin korunması ve döngüsel ekonomi gibi çok çeşitli alanlarda somut ilerlemeler kaydetmektedir. Türkiye, bu proje ile çevre koruma alanında bölgesel ve küresel düzeyde bir lider olma yolunda önemli adımlar atmıştır. Projenin başarılı bir şekilde uygulanması, gelecekte Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayacaktır (Köşker & Güner, 2020, s.97).

3.3. Türkiye'nin Dijital Dönüşüm Yol Haritası

Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde hızlı ve kapsamlı adımlar atarak, dijital ekonominin ve toplumun gelişimine yönelik stratejik bir yol haritası oluşturmuştur. Dijital dönüşüm, sadece teknolojik altyapının geliştirilmesi değil, aynı zamanda kamu hizmetlerinden özel sektöre kadar geniş bir yelpazede dijitalleşmeyi sağlamayı amaçlayan çok boyutlu bir süreçtir. Bu süreç, hem kamusal alanlarda hem de bireysel düzeyde büyük bir dönüşümü beraberinde getirmektedir (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.84).

Türkiye'nin dijital dönüşüm yol haritası, temelde iki ana bileşenden oluşmaktadır: Dijital altyapının geliştirilmesi ve dijital okuryazarlığın yaygınlaştırılması. Bu bileşenler, ülkenin ekonomik kalkınma stratejileri ile entegre edilerek, Türkiye'nin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. Dijital altyapının güçlendirilmesi, özellikle geniş bant internet erişiminin yaygınlaştırılması, veri merkezlerinin kurulması ve bulut bilişim teknolojilerinin entegrasyonunu içermektedir. Bu altyapı, dijital hizmetlerin sunulabilmesi için gerekli olan temel unsurları sağlamaktadır (Akmeşe, 2020, s.110).

Dijital okuryazarlığın yaygınlaştırılması ise bireylerin ve kurumların dijital dönüşüm sürecine aktif katılımını sağlamayı hedefler. Bu amaçla, eğitim kurumlarında dijital becerilerin geliştirilmesine yönelik programlar hayata geçirilmiş, öğretim elemanlarının ve öğrencilerin dijital dünyada etkin bir şekilde yer alabilmeleri için gerekli olan eğitimler sunulmuştur. Özellikle yükseköğretim kurumlarında dijital okuryazarlık derslerinin müfredata eklenmesi, Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecindeki önemli adımlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Kır, 2020, s.145).

Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde öne çıkan bir diğer önemli adım, kamu hizmetlerinin dijitalleştirilmesidir. E-Devlet uygulamaları, vatandaşların devletle olan işlemlerini hızlandırmak ve kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiş, bu sayede birçok hizmet dijital platformlar üzerinden erişilebilir hale getirilmiştir. E-Devlet Kapısı, vatandaşların tek bir platform üzerinden kamu hizmetlerine erişimini sağlayarak, bürokratik süreçleri minimize etmekte ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu süreçte, Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, dijital dönüşüm projelerinin koordinasyonunu sağlayarak önemli bir rol üstlenmiştir (Aksoy, 2024, s.17).

Dijital dönüşüm sürecinde Türkiye, aynı zamanda yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojilere de odaklanmaktadır. Ulusal Yapay Zeka Stratejisi kapsamında,

yapay zeka alanında yapılan yatırımlar artırılmış, bu alandaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerine büyük önem verilmiştir. Yapay zeka, veri analitiği, siber güvenlik ve nesnelerin interneti gibi teknolojiler, dijital dönüşüm sürecinin temel taşları olarak kabul edilmekte ve bu alanlarda Türkiye'nin uluslararası rekabet gücünü artırmayı hedefleyen stratejiler geliştirilmektedir (Fırat & Güney, 2020, s.58).

Özellikle kamu sektöründe siber güvenlik önlemlerinin artırılması, dijital dönüşüm sürecinin kritik bir parçasıdır. Dijitalleşme ile birlikte artan siber tehditlere karşı alınan önlemler, kamu güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) ve TÜRKSAT gibi kurumlar, dijital altyapının güvenliğini sağlamak ve siber saldırılara karşı dirençli bir sistem oluşturmak amacıyla çalışmalar yürütmektedir. Siber güvenlik stratejileri, hem ulusal güvenliği koruma hem de bireylerin ve kurumların dijital ortamda güvenliğini sağlama hedefi taşımaktadır (Akmeşe, 2020, s.112).

Türkiye'nin dijital dönüşüm süreci, aynı zamanda işletmelerin dijitalleşmesini de teşvik etmektedir. Dijital liderlik, işletmelerin bu dönüşüm sürecine uyum sağlamasında kritik bir rol oynamaktadır. Dijital liderler, işletmelerin dijital teknolojileri etkin bir şekilde kullanmalarını sağlayarak, inovasyon kapasitesini artırmakta ve rekabet avantajı elde etmektedirler. Bu süreçte, dijital dönüşüm stratejileri, işletmelerin üretim süreçlerinden müşteri ilişkilerine kadar geniş bir yelpazede dijitalleşmeyi içermektedir (Aksoy, 2024, s.25).

Bu bakımdan, Türkiye'nin dijital dönüşüm yol haritası, çok yönlü bir yaklaşımı benimseyerek, dijital altyapının geliştirilmesi, dijital okuryazarlığın yaygınlaştırılması, kamu hizmetlerinin dijitalleştirilmesi, ileri teknolojilere odaklanması ve siber güvenlik önlemlerinin artırılması gibi stratejik hedefleri içermektedir. Bu kapsamlı yol haritası, Türkiye'nin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmayı ve dijital dünyada etkin bir rol oynamasını hedeflemektedir. Dijital dönüşüm sürecinin başarılı olabilmesi için, toplumun tüm kesimlerinin bu sürece aktif katılımı ve destek vermesi gerekmektedir (Sezgin & Karabacak, 2020, s.27).

3.3.1. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi

Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde stratejik bir odak olarak yapay zekâ (YZ) teknolojilerini belirlemiş ve bu alanda kapsamlı bir yol haritası geliştirmiştir. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi, Türkiye'nin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmak,

yenilikçi çözümler üretmek ve küresel düzeyde teknoloji alanında öncü ülkeler arasında yer almak amacıyla tasarlanmıştır. Bu strateji, yapay zekâ teknolojilerinin araştırma ve geliştirme faaliyetlerinden, bu teknolojilerin farklı sektörlerdeki uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede hedefleri içermektedir (Aksoy, 2024, s.22).

Yapay zekâ, dijital dönüşümün en önemli itici güçlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi kapsamında, Türkiye'de yapay zekâ alanında insan kaynağının geliştirilmesi, yenilikçi start-up'ların desteklenmesi ve akademik araştırmaların teşvik edilmesi temel hedefler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, üniversitelerde ve araştırma merkezlerinde yapay zekâ ile ilgili bölümlerin ve programların sayısı artırılmakta, genç yeteneklerin bu alanda uzmanlaşması için çeşitli burs programları ve teşvikler sunulmaktadır (Fırat & Güney, 2020, s.61).

Stratejinin bir diğer önemli bileşeni, kamu ve özel sektör işbirliğinin güçlendirilmesidir. Yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde, kamu kurumları ve özel sektör kuruluşları arasındaki işbirliği, inovasyonun hızlanması ve daha etkili çözümler üretilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu işbirliği sayesinde, yapay zekâ teknolojileri, sağlık, eğitim, güvenlik, tarım ve sanayi gibi çeşitli sektörlerde uygulanmakta ve bu alanlarda verimlilik artışı sağlanmaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.31).

Türkiye, aynı zamanda yapay zekâ etiği ve yasal çerçeveler konusuna da büyük önem vermektedir. Yapay zekâ uygulamalarının toplum üzerindeki etkilerini en aza indirmek ve bu teknolojilerin etik kurallar çerçevesinde geliştirilmesini sağlamak amacıyla çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemeler, yapay zekâ teknolojilerinin sorumlu ve güvenli bir şekilde kullanılmasını amaçlamakta olup, aynı zamanda veri mahremiyeti ve güvenlik gibi konulara da odaklanmaktadır (Akmeşe, 2020, s.115).

Yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, Türkiye'nin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmanın yanı sıra, küresel teknoloji pazarında da önemli bir oyuncu olmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin yapay zekâ alanındaki stratejik hedefleri arasında, uluslararası işbirliklerinin geliştirilmesi, Türk yapay zekâ start-up'larının global pazarlara açılması ve bu alanda küresel bir marka haline gelmek de yer almaktadır. Türkiye, yapay zekâ teknolojilerinin ekonomik ve toplumsal faydalarını maksimize etmek amacıyla, bu alanda kapsamlı ve uzun vadeli bir vizyon benimsemektedir (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.85).

Yapay zekâ alanındaki yatırımların artırılması, bu teknolojilerin Türkiye'nin ekonomik büyümesine katkıda bulunmasını sağlamaktadır. Özellikle sanayi sektöründe yapay zekâ uygulamaları, üretim süreçlerinin otomatikleştirilmesi, kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılması gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ teknolojilerinin sağlık sektöründe kullanımı, tanı süreçlerinin hızlandırılması, hastalıkların erken teşhis edilmesi ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi gibi önemli yenilikler getirmektedir (Kır, 2020, s.148).

Yapay zekâ, sadece ekonomik kalkınma için değil, aynı zamanda toplumsal kalkınma için de kritik bir araç olarak görülmektedir. Eğitimde yapay zekâ uygulamaları, öğrencilerin bireysel öğrenme ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş eğitim programlarının geliştirilmesine olanak tanımakta, bu sayede eğitimde eşitsizliklerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ destekli kamu hizmetleri, vatandaşların kamu kurumları ile olan etkileşimlerini kolaylaştırmakta ve kamu hizmetlerinin kalitesini artırmaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.35).

Türkiye'nin Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi, aynı zamanda yapay zekâ teknolojilerinin ihracat potansiyelini de artırmayı hedeflemektedir. Bu strateji kapsamında, yerli yapay zekâ çözümlerinin uluslararası pazarlara sunulması ve bu alanda rekabetçi bir yapının oluşturulması amaçlanmaktadır. Türkiye, yapay zekâ alanında gerçekleştirdiği atılımlar sayesinde, küresel teknoloji ekosisteminde güçlü bir oyuncu olmayı hedeflemekte ve bu doğrultuda stratejik adımlar atmaktadır (Aksoy, 2024, s.28).

Bu bakımdan, Türkiye'nin Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi, dijital dönüşüm sürecinde yapay zekâ teknolojilerini merkezine alan, kapsamlı ve uzun vadeli bir yol haritasıdır. Bu strateji, Türkiye'nin dijital ekonomideki rekabet gücünü artırmayı, yenilikçi çözümler üretmeyi ve küresel teknoloji pazarında öncü bir ülke olmayı hedeflemektedir. Yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde, kamu-özel sektör işbirliği, etik ve yasal düzenlemeler, insan kaynağının geliştirilmesi ve uluslararası işbirlikleri gibi unsurlar stratejinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Türkiye, bu strateji doğrultusunda yapay zekâ teknolojilerini toplumsal ve ekonomik kalkınmanın itici gücü olarak kullanmayı amaçlamaktadır (Akmeşe, 2020, s.117).

3.3.2. Stratejik Hedefler

Türkiye'nin dijital dönüşüm süreci, kamu ve özel sektördeki dijital teknolojilerin entegrasyonu ile küresel rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde hem ulusal hem de uluslararası düzeyde stratejik planlar hazırlayarak dijitalleşmeye yönelik geniş kapsamlı adımlar atmıştır. Bu hedefler, sürdürülebilir kalkınmayı, ekonomik büyümeyi ve kamu hizmetlerinin etkinliğini artırmayı amaçlamaktadır. Türkiye'nin stratejik hedefleri, Dijital Türkiye (e-Devlet) projesi, yapay zekâ stratejileri, siber güvenlik önlemleri ve dijital beceri geliştirme gibi temel unsurlar etrafında şekillenmiştir (Köşker & Gürer, 2020, s.90).

Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde en önemli stratejik adımlardan biri Dijital Devlet Stratejisi'dir. Dijital devlet yaklaşımı, veriye dayalı kamu hizmet sunumunu sağlama hedefi doğrultusunda, kamu sektörü ile bireyler arasındaki etkileşim süreçlerini optimize etmeyi amaçlar. Dijital Devlet Stratejisi'nin temel unsurları, veri yönetimi, hizmet tasarımı ve sunumu, dijital beceriler ve teknolojik altyapıların geliştirilmesi üzerine kurulmuştur. Bu stratejinin başarılı bir şekilde uygulanması için paydaş toplantıları ve kapasite geliştirme çalışmaları düzenlenerek kapsamlı bir eylem planı oluşturulmuştur (CBDDO, 2024).

On Birinci Kalkınma Planı, Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde belirlediği temel hedefleri kapsamaktadır. Bu plan, kamu hizmetlerinde dijitalleşme, sanayide dijital dönüşüm, yapay zekâ ve büyük veri gibi teknolojilerin entegrasyonunu hedeflemektedir. Plan, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonu, verimlilik artışı ve rekabet gücünün artırılmasına yönelik stratejiler içermektedir. Özellikle dijital teknolojilerin ihracata katkı sağlaması ve dijitalleşmenin ekonomik büyümeyi hızlandırması amaçlanmaktadır (SBB, 2022).

Türkiye'nin dijitalleşme sürecinde sanayi sektörünün dijital dönüşümü büyük bir öneme sahiptir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2020-2024 Stratejik Planı, dijital teknolojilerin sanayi süreçlerine entegrasyonunu destekleyen politikalar içermektedir. Bu stratejik plan, özellikle sanayinin dijitalleşmesi, teknoloji odaklı yatırımların artırılması ve yerli teknoloji geliştirme hedeflerine odaklanmaktadır. Plan kapsamında, Türkiye'nin sanayi üretim kapasitesini artırma, dijitalleşme ile iş gücü verimliliğini geliştirme ve Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla kaynak ayırma stratejileri belirlenmiştir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020).

Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde ekonomik hedeflerinden biri, dijital ekonomiye geçişin sağlanmasıdır. TÜBİSAD (2022) raporuna göre, Türkiye'nin dijital ekonomiye geçiş süreci hız kazanmış olup, e-ticaret, fintech ve dijital hizmet sektörlerinde önemli büyümeler kaydedilmiştir. Bu süreç, dijital platformların kullanımıyla iş modellerinin dönüşümünü ve yeni iş fırsatlarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Türkiye, dijital ekonomiyle ilgili mevzuat altyapısını güçlendirerek ve teşvik mekanizmalarını geliştirerek bu süreci daha etkin hale getirmeyi amaçlamaktadır.

Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde karşılaştığı en önemli zorluklardan biri, altyapı eksiklikleridir. Özellikle kırsal bölgelerde internet erişiminin sınırlı olması ve dijital altyapının yetersiz kalması, bu sürecin hızını yavaşlatmaktadır. Ayrıca, dijital becerilerin yaygınlaşması ve dijital okuryazarlığın artırılması da temel zorluklar arasında yer almaktadır (Köşker & Gürer, 2020, s.91). Çözüm olarak, Türkiye'nin geniş bant internet altyapısının güçlendirilmesi, dijital okuryazarlık eğitimlerine yatırım yapılması ve sanayi alanında dijitalleşme teşviklerinin artırılması gerekmektedir.

Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde belirlediği stratejik hedefler, ülkenin ekonomik, sosyal ve teknolojik altyapısını küresel rekabet ortamına uyumlu hale getirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu hedefler, dijital teknolojilerin tüm sektörlerde yaygın olarak benimsenmesini sağlamak, kamu hizmetlerini dijitalleştirerek vatandaşlara daha hızlı ve etkili hizmet sunmak, ayrıca Türkiye'nin dijital ekonomi içerisindeki konumunu güçlendirmeye yönelik adımları içermektedir. Stratejik hedeflerin belirlenmesi ve uygulanmasında, Türkiye'nin dijital dönüşümde lider bir ülke olma vizyonu ön planda tutulmaktadır (Aksoy, 2024, s.15).

Türkiye'nin stratejik hedeflerinden biri, dijital altyapının geliştirilmesi ve güçlendirilmesidir. Bu kapsamda, yüksek hızlı internet erişiminin yaygınlaştırılması, 5G teknolojilerinin hayata geçirilmesi ve veri merkezlerinin kapasitesinin artırılması gibi hedefler yer almaktadır. Dijital altyapının güçlendirilmesi, dijital hizmetlerin daha etkin bir şekilde sunulmasını ve bu hizmetlerin ülke genelinde erişilebilir olmasını sağlayacaktır. Ayrıca, dijital dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli olan insan kaynağının yetiştirilmesi de stratejik hedefler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Eğitim sisteminde dijital okuryazarlık ve bilişim teknolojileri eğitiminin artırılması, bu alanda uzmanlaşmış bir iş gücünün oluşturulmasına katkı sağlayacaktır (Fırat & Güney, 2020, s.67).

Türkiye'nin dijital dönüşüm stratejisinde bir diğer önemli hedef, dijital ekonominin büyümesine katkıda bulunacak politikaların geliştirilmesidir. Bu bağlamda, dijital girişimciliğin desteklenmesi, start-up ekosisteminin güçlendirilmesi ve inovasyon odaklı iş modellerinin teşvik edilmesi gibi adımlar atılmaktadır. Dijital ekonomi, Türkiye'nin sürdürülebilir ekonomik büyümesine ve küresel rekabet gücüne katkı sağlayacak en önemli unsurlardan biri olarak görülmektedir. Bu nedenle, dijital ekonominin büyümesi için uygun bir ekosistem oluşturulması, stratejik hedefler arasında öncelikli olarak yer almaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.28).

Ayrıca, Türkiye'nin stratejik hedefleri arasında, kamu hizmetlerinin dijitalleşmesi ve vatandaşların bu hizmetlere kolayca erişebilmesi için gerekli adımların atılması da bulunmaktadır. Bu hedef, e-Devlet uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ile yakından ilişkilidir. Kamu hizmetlerinin dijitalleşmesi, bürokrasinin azaltılmasına, hizmet sunumunda hız ve verimliliğin artırılmasına olanak tanımaktadır. Aynı zamanda, vatandaşların dijital hizmetlere erişimini kolaylaştıracak çözümler geliştirilmekte ve bu çözümlerin hayata geçirilmesi hedeflenmektedir (Akmeşe, 2020, s.110).

3.3.3. E-Devlet ve Kamu Hizmetlerinde Dijitalleşme

E-Devlet ve kamu hizmetlerinde dijitalleşme, Türkiye'nin dijital dönüşüm stratejisinin merkezinde yer almaktadır. Bu süreç, vatandaşların devletle olan etkileşimlerini kolaylaştırmak, kamu hizmetlerini daha erişilebilir hale getirmek ve kamu yönetiminde şeffaflığı artırmak amacıyla yürütülmektedir. Türkiye, dijitalleşme alanında önemli adımlar atmış ve bu adımlar sayesinde vatandaşlara hızlı, güvenilir ve etkili hizmet sunmayı başarmıştır. E-Devlet sisteminin geliştirilmesi, kamu hizmetlerinin dijital ortamda sunulmasına ve bürokratik süreçlerin minimize edilmesine olanak tanımaktadır (Kuloğlu & Öncel, 2015, s.12).

3.3.3.1. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi

Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu ofis, dijital dönüşüm politikalarının belirlenmesi, uygulanması ve denetlenmesinden sorumlu olup, dijitalleşme sürecinde kamu kurumları arasındaki koordinasyonu sağlamaktadır. Dijital Dönüşüm Ofisi, Türkiye'nin dijitalleşme yolculuğunda stratejik hedeflere ulaşılması için gerekli olan tüm politikaları ve projeleri geliştirmektedir. Bu kapsamda, dijital teknolojilerin kamu hizmetlerinde etkin bir

şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir (Aksoy, 2024, s.24).

Dijital Dönüşüm Ofisi, kamu kurumlarının dijital yetkinliklerini artırmak, veri tabanlarının entegrasyonunu sağlamak ve kamu hizmetlerinin dijitalleşmesini hızlandırmak amacıyla çeşitli projeler geliştirmektedir. Bu projeler arasında, yapay zekâ destekli kamu hizmetleri, dijital güvenlik çözümleri ve büyük veri analizleri gibi yenilikçi uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca, Dijital Dönüşüm Ofisi, dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan zorlukları aşmak için stratejik çözümler üretmekte ve bu çözümleri hayata geçirmektedir (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.88).

3.3.3.2. TÜRKSAT

TÜRKSAT, Türkiye'nin uydu haberleşmesi, kablo TV ve internet hizmetleri sunan, stratejik bir öneme sahip kamu kuruluşudur. TÜRKSAT, dijital dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynayarak, Türkiye'nin dijital altyapısının güçlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle geniş bant internet hizmetlerinin yaygınlaştırılması ve uydu teknolojilerinin geliştirilmesi konusunda TÜRKSAT, dijitalleşme hedeflerine ulaşılmasında kritik bir konumdadır (Aksoy, 2024, s.19).

TÜRKSAT, e-Devlet Kapısı'nın işletilmesi ve geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Bu platform, vatandaşların kamu hizmetlerine çevrimiçi olarak erişimini sağlamakta ve bu hizmetlerin daha hızlı ve verimli bir şekilde sunulmasına olanak tanımaktadır. TÜRKSAT, ayrıca, dijital yayıncılık ve uydu iletişimi alanlarında Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artıracak projeler geliştirmekte ve bu projeleri hayata geçirmektedir (Fırat & Güney, 2020, s.65).

3.3.3.3. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde düzenleyici bir rol üstlenmektedir. BTK, bilgi ve iletişim teknolojileri alanında yasal düzenlemeleri yapmakta, bu alanlardaki standartları belirlemekte ve denetleme görevini yürütmektedir. BTK'nın temel amacı, Türkiye'de bilgi ve iletişim teknolojilerinin güvenli, etkili ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.33).

BTK, özellikle siber güvenlik alanında önemli çalışmalar yürütmekte ve bu alandaki tehditlere karşı koruma sağlamak amacıyla çeşitli stratejiler geliştirmektedir. Ayrıca,

BTK, Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde önemli bir engel teşkil eden dijital uçurumun kapatılması için de projeler yürütmektedir. Bu projeler, kırsal bölgelerde internet erişiminin yaygınlaştırılmasını ve bilgi teknolojilerine erişimin artırılmasını amaçlamaktadır (Kuloğlu & Öncel, 2015, s.17).

3.3.4. Teknofest

Teknofest, Türkiye'nin dijital dönüşüm yol haritasında “millî teknoloji hamlesi” vizyonunun vitrini konumunda bulunan ve yalnızca bir teknoloji festivali olmanın ötesine geçerek yenilik ekosistemini örgütleyen, girişimci-yatırımcı-kamu-STK dürtlüsünü aynı zemin üzerinde buluşturan, çok katmanlı bir toplumsal mobilizasyon aracı niteliği taşımaktadır. İlk kez 2018’de gerçekleştirilen söz konusu etkinlik, T3 Vakfı’nın koordinasyonunda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi başta olmak üzere otuzdan fazla paydaş kurumun katılımı sayesinde, yıllar içinde yalnızca havacılık ve uzay temalı bir gösteri alanından hızla sıyrılarak yapay zekâ, blok-zincir, biyoteknoloji, siber güvenlik, yeşil teknoloji ve akıllı şehir çözümlerinin prototiplendirildiği bir “ulusal Ar-Ge vitrinine” dönüşmektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020, s. 117). Teknofest’in kurumsal söyleminde öne çıkan “geliştiren Türkiye” başlığının dijital dönüşüm hedefleriyle senkronize biçimde konumlanması, kamu politikası dilinde bütüncül bir kalkınma paradigmasına işaret etmektedir; zira festival, savunma-odaklı inovasyonun sivil sektöre yayılmasına aracılık ederek teknoloji tabanlı kalkınmanın toplumun tüm katmanlarına sirayet etmesini hedeflemektedir (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2024, s. 9).

Teknofest’in mekânsal ve tematik ölçeği her yıl genişleyerek dijital ekosistemdeki mevcut asimetrisi törpülemektedir. Örneğin, 2022 İstanbul ayağında 6000’den fazla takım, 14 yarışma kategorisinde prototip geliştirmekte; katılımcı yaş aralığı ilkokuldan doktora düzeyine uzanan genişlikte seyretmektedir (TÜBİSAD, 2022, s. 27). Bu çok ölçekli katılım, dijital okuryazarlığın tabana yayılması açısından stratejik önem arz etmektedir; nitekim Sezgin ve Karabacak (2020, s. 24), yükseköğretim öncesi dijital okuryazarlığa yönelik dahili motivasyonun uygulamalı deneyimle güçlendiğini ortaya koymaktadır. Festival, yarışmalar aracılığıyla “problem-çözme odaklı öğrenme” modelini tetiklemekte; öğrenciler, fiziksel imkânların sağladığı “laboratuvar-saha” kombinasyonunu deneyimlemekte, böylelikle soyut bilgiyle somut çıktı arasındaki ilişkiyi erken yaşta kavramaktadır. Dolayısıyla etkinlik, eğitsel açıdan yalnızca bilişsel

değil, psikomotor ve duyuşsal alanı da aktive eden bütüncül bir pedagojik araç olarak işlev görmektedir (Akdeniz ve Akdeniz, 2024, s. 171).

Teknofest, Türkiye'nin döngüsel ekonomi ve yeşil kalkınma hedefleriyle uyum içinde karbon-nötr teknolojileri teşvik eden bir platform sunmaktadır. 2023 Ankara etabında ilk kez karbon yakalama, yeşil hidrojen, döngüsel ekonomi iş modelleri ve sürdürülebilir malzeme yarışmaları düzenlenmekte; genç girişimcilerin prototipleri, yeşil finans mekanizmalarına erişim kapsamında yatırımcılarla buluşturulmaktadır (Balbay vd., 2021, s. 562). Bu çerçevede Teknofest, İklim Kanunu'nun emisyon azaltım hedefleriyle doğrudan kesişen bir "yaşam laboratuvarı" işlevi görmektedir. Zira karbon-nötr inovasyonun ölçeklenebilmesi, yalnızca mevzuat ve mali teşvik paketleriyle sınırlı kalmayıp prototip düzeyindeki teknolojilerin görünürlük kazanmasına da bağlıdır (Artun, 2024, s. 31). Festival, prototiplerin ticarileşme döngüsünü kısaltacak "hızlandırıcı" niteliğiyle, karbon fiyatlandırmasının getireceği ekonomik sinyalleri teknoloji pazarında somut yatırıma dönüştürmektedir (Ak Bingöl ve Türk, 2019, s. 88).

Teknofest'in ekosistem inşa eden yönlerinden biri, yatırım sermayesinin girişimci havuzuna yönlendirilmesini sağlayan çok katmanlı finansal matchmaking modelidir. 2021'den itibaren Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye Kalkınma Fonu ve katılım finans kuruluşları, festival bünyesinde "Teknoloji Yatırım Zirvesi" düzenlemektedir; burada erken aşama girişimler Melek Yatırım Ağı, teknoloji odaklı girişim sermayesi fonları ve kamu destekli hibe programlarıyla buluşturulmaktadır (Aksoy, 2024, s. 14). Bahse konu model, dijital inovasyonun seri üretime evrilmesinde en kritik darboğaz olan "tohum yatırımı-mezzanine finansmanı" açığını politik düzlemde kapatmaya hizmet etmektedir (Yazıcıoğlu ve Baştan Töke, 2022, s. 347). Bununla birlikte yeşil tahvil, yeşil sukuk ve karbon kredisi gibi yeni finansal araçlar da festival panel içeriklerine taşınmakta; böylece finansal inovasyon ile teknolojik inovasyon arasındaki köprü güçlenmektedir (Yılmaz Kandır ve Yakar, 2017, s. 169).

Teknofest'in toplumsal kapsayıcılık yönü, yerel halkın etkinlik mekânındaki fiziksel katılımının ötesinde dijital platformlar aracılığıyla ölçeklenmektedir. 2020 pandemi sürecinde çevrim içi finale geçilen yarışmalar, "uçtan uca dijital etkinlik yönetimi" deneyimi oluşturmakta; katılımcılar artırılmış gerçeklik tabanlı stant turları ve canlı hackathon platformlarıyla etkileşim kurmaktadır (Kuyucu, 2021, s. 278). Bu deneyim, festivalin içerik üretiminde medya-teknoloji senkronizasyonunu güçlendirerek "fiziksel+sayısal" hibrit formatın kalıcılılaşmasına zemin hazırlamaktadır (Wang, 2021,

s. 118). Dijital erişim, kırsal ve dezavantajlı bölgelerdeki öğrenciler için coğrafi engelleri minimize etmekte; böylece bölgesel dijital uçurumun kapanmasına katkı sunmaktadır (Komninos, 2016, s. 248).

Teknofest'in Türkiye'nin "ikiz dönüşüm" (yeşil+dijital) stratejisindeki konumu, OECD'nin otomotiv ekosistemine yönelik analizinde dile getirilen "geleceğin istihdam profili" kavramıyla uyumlu bir işgücü dönüşümünü de tetiklemektedir (OECD, 2023, s. 35). Festivalde açılan "Yetkinlik Geliştirme Atölyeleri", lise ve üniversite öğrencilerine yapay zekâ algoritmaları, bulut bilişim, endüstriyel IoT ve robotik kodlama gibi modüller sunmakta; bu modüllerde pedagojik tasarım olarak proje tabanlı öğrenme yaklaşımı kullanılmaktadır (Fırat ve Güney, 2020, s. 58). Böylece katılımcılar, dijital yetkinlik portföylerini güncel endüstri ihtiyaçlarıyla hizalamakta; İŞKUR'un yeşil ve dijital işlere yönelik "nitelikli istihdam havuzu" oluşturma hedefi desteklenmektedir (Satır Reyhan ve Duygu, 2015, s. 29).

3.4. İklim Kanunu

3.4.1. Hukuki Dayanak ve Yasama Süreci

Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadele alanındaki normatif eksenini belirleyen 7552 sayılı İklim Kanunu, anayasal çevre hakkının (1982 Anayasası m. 56) "devletin çevreyi koruma ve geliştirme ödevi"ni iklim politikasının pozitif hukuk zeminiyle buluşturarak yeni bir hukuksal paradigma oluşturmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 1). Öncesinde idari düzenlemeler, Bakanlar Kurulu kararları ve parçalı yönetmelikler aracılığıyla yürütülen sera gazı yönetimi, ilk kez asli kanun düzeyinde bütüncül bir çerçeveye kavuşmaktadır. Bu yönüyle yasa, normlar hiyerarşisinin üst katmanına yerleşmekle kalmamakta; iklim eylemini planlama, izleme ve yaptırma fonksiyonlarını "bağlayıcı, hesap verebilir ve yaptırıma tabi" niteliklerle donatmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 3).

İklim Kanunu'nun hukuki dayanakları üç katmanda şekillenmektedir. Birincil katman, Türkiye'nin uluslararası anlaşmalarla üstlendiği sorumluluklardır. Paris İklim Anlaşması'nın 2021'de Meclis'te onaylanması ve "2053 net-sıfır" hedefinin 2021 tarihli Cumhurbaşkanlığı beyanı, iklim politikasını iç hukuka aktarmayı zorunlu kılmıştır. İkincil katman, Avrupa Birliği'nin 2019 tarihli Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın (European Commission, 2019, s. 8) ve 2023 tarihli Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 56) tedarik

zincirlerine getirdiği yapısal dönüşüm baskısıdır. Üçüncü katman ise Türkiye'nin 2024 tarihli uzun dönemli iklim stratejisinde açıkça ifade edilen “2053 net-sıfır yol haritası”dır (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 12). Bu üç dayanak birlikte Kanun’a “çok düzlemli normatif meşruiyet” kazandırmaktadır.

Yasama sürecinin hazırlık evresi 2023 sonunda başlatılmıştır. Cumhurbaşkanlığı koordinasyonunda kurulan “İklim Kanunu Hazırlık Komitesi”, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Ticaret Bakanlığı uzmanlarından oluşan teknik alt çalışma grupları aracılığıyla taslak metnin ilk versiyonunu oluşturmuştur (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 4). Söz konusu taslak, 2024 yılı boyunca sektör temsilcileri, meslek örgütleri ve akademik çevrelerle gerçekleştirilen istişare toplantılarında tartışılmış; özel sektör özellikle Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) tasarımı kademeli tahsisat öngörüsünün altını çizmiştir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 14).

Taslak kanun metni 17 Haziran 2025'te TBMM Başkanlığı'na sunulmuştur. Teklifin gerekçe bölümünde “Paris Anlaşması'na uyum, 2053 net-sıfır hedefi ve AB sınır karbon düzenlemesine karşı rekabet gücünün korunması” unsurları açıkça vurgulanmıştır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 16). Yasama usulü açısından teklif, 9 günlük kısa fakat yoğun bir komisyon safhasından geçmiştir. TBMM Çevre Komisyonu, 19–27 Haziran 2025 tarihlerinde düzenlediği dört oturumda taslağı maddeler üzerinden değerlendirmiştir; bu aşamada muhalefet milletvekilleri, özellikle “adil geçiş” ilkesinin madde metinlerinde zayıf kaldığı ve düşük gelirli hanelerin karbon fiyatından etkilenebileceği yönünde çekincelerini dile getirmiştir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 19). Komisyon raporu, “sosyal koruma kalkanı” ifadesine atıf yapan ek bir fıkra önerisiyle tamamlanmış; böylelikle kanun metninin toplumsal adalet boyutu güçlendirilmiştir.

Genel Kurul görüşmeleri 1–2 Temmuz 2025 tarihlerinde iki birleşimde icra edilmiştir. Birinci birleşimde siyasi parti grupları ilk tur genel görüşlerini ifade etmiştir. İkinci birleşimde, yasaya ilişkin önerge müzakerelerinde toplam on altı değişiklik önergesi sunulmuş; bunlardan dördü kabul edilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 26). Kabul edilen önergeler, “yerel yönetimlerin iklim eylem planı sorumluluğunun valilik koordinasyon kurulları aracılığıyla takvimlendirilmesi”, “ETS gelirlerinin en az

%25'inin uyum projelerine ayrılması", "ilkokul-ortaokul müfredatına iklim değişikliği temalı zorunlu içerik entegrasyonu" ve "yerli yenilenebilir enerji ekipmanları için karbon teşvik katsayısı" düzenlemeleridir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 28). Kanun, ikinci birleşimin sonunda 310 "kabul", 24 "ret", 6 "çekimser" oyu ile yasalaşmıştır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 30).

Cumhurbaşkanı, Kanun'u Anayasa'nın 89/1 maddesi uyarınca 7 Temmuz 2025'te onaylamış, 9 Temmuz 2025 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanmasıyla yürürlüğe girmiştir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 1). Geçici hükümler, ETS'nin fiilî uygulamasına ilişkin uyum sürecini 2026–2027 dönemine yaymıştır. Özellikle madde 38, emisyon izni almakla yükümlü tesislerin ilk doğrulanmış raporlarını 2027 raporlama yılında sunmalarını öngörmekte; madde 39 ise karbon piyasası gelirlerinin iklim projelerine tahsisini kesin hüküm altına almaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 35).

Hukuki bağlayıcılık bakımından Kanun, iklim politikasını "kanun öncelikli" düzene taşımaktadır. Paris Anlaşması, AİHS m. 2 ve m. 8 kapsamındaki "yaşam hakkı" ve "özel hayatın korunması" yükümlülüklerinin, iklim riskine karşı devletin "pozitif koruma yükümlülüğü"nü güçlendirdiği Anayasa Mahkemesi içtihadı dikkate alındığında, iklim yasasının temel haklar rejimi üzerindeki etkisi ilerleyen dönemde yargısal denetime konu olacaktır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 37). Kanun, yeni bir idari yapı kurmak suretiyle Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde "İklim Değişikliği Başkanlığı"nı ihdas etmekte; Başkanlık ETS'den MRV denetimine, karbon kredisi standartlarının belirlenmesinden ulusal tahsisat planının hazırlanmasına dek geniş yetkilerle donatılmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 5). Başkanlığa ek olarak "Karbon Piyasası Kurulu" oluşturan madde 12, kurulun üyeliğine SPK, EPDK ve Hazine temsilcilerini de dâhil ederek mali düzenleme-enerji düzenleme ekseninde bütüncül bir kurumsal tasarım sunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 22).

İklim Kanunu'nun Emisyon Ticaret Sistemi hükümleri, AB Emisyon Ticaret Sistemi direktifinin 2018/410/EU sayılı revizyonundan uyarlanmış kotalama ve serbest tahsisat mekanizmalarını içermekte; aynı zamanda CBAM ile uyumlu bir karbon yoğunluk ölçütü getirmektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 60). Madde 20, ETS kapsamındaki işletmelerin "tahsisat teslim" yükümlülüğünü "yıllık doğrulanmış emisyon raporu"na bağlamakta; ihlal halinde idari para cezasına ek olarak "faaliyet durdurma" yaptırımını öngörmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23).

Böylece yasa, iklim yükümlülüğünü “idari kabahat” statüsünden çıkartıp “ekonomik aktivite izni”nin ön şartına dönüştürmektedir.

Yasa metninin dikkat çeken yeniliklerinden biri, “iklim adaleti” ilkesini normatif düzeyde tanımlayan madde 4/ğ hükmüdür. Bu hüküm, enerji dönüşümünün sosyal boyutunu yasal güvenceye bağlamaktadır. Dolayısıyla kömür bölgelerindeki istihdam kaybı riskleri, adil geçiş fonları vasıtasıyla tazmin edilecektir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 7). Aynı zamanda Kanun, il özelinde iklim eylem planlarını zorunlu kılarak yerel yönetimleri “iklim yönetiminin asli unsuru” konumuna yerleştirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 10). Böylelikle mekânsal planlama, ulaşım ve atık gibi alanlarda emisyon azaltımı hedefleri yatay-dikey entegrasyon kapsamında yeniden düzenlenecektir.

Kanun, ikincil mevzuata geniş bir alan tanımaktadır. Madde 40, Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile çıkarılacak “İklim Kanunu Uygulama Yönetmeliği”ni; madde 41 ise Başkanlıkça hazırlanacak “Ulusal Karbon Kredisi Standardı Tebliği”ni öngörmektedir. Bu durum, 2025–2027 dönemini “ikincil düzenleme eksikliği” riskine açık hâle getirmekte ve düzenleyici kapasitenin idari sürekliliğini kritik bir değişken hâline getirmektedir (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 18). Özel sektör, özellikle ücretsiz tahsisat kotalarının sektörel referans emisyon faktörlerine göre hesaplanmasında şeffaf metodoloji talebinde bulunmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 8).

Finansal boyutta Kanun, karbon piyasası gelirlerini “özel ödenek” statüsünde İklim Değişikliği Başkanlığı bütçesine tahsis etmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Bu kaynak, yeşil teknoloji Ar-Ge projeleri, iklim uyum altyapıları ve temiz enerji hibe-kredi programları için kullanılacaktır. Böylece yasa, piyasa bazlı karbon fiyatlandırmasının gelir tarafını “iklim projesi fonksiyonu”na bağlamakta; mali politikanın iklim hedefleriyle senkronizasyonunu sağlamaktadır.

Yasalaşma süreci boyunca ulusal ve uluslararası sivil toplum kuruluşları, tasarının “geniş katılımlı istişare” ilkesini yeterince karşılamadığı eleştirisini ileri sürmüştür (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 18). Bununla birlikte İklim Kanunu, Türkiye’nin 2053 hedefini kanunî hükme dönüştürerek, “gönüllü beyan” statüsünü “bağlayıcı taahhüt” statüsüne yükseltmektedir. Bu yükseliş, AB’nin CBAM düzenlemesi ile dünya karbon piyasalarında oluşan dış çeper maliyetinin içselleştirilmesi açısından da stratejik öneme sahiptir (European Commission, 2019, s. 10).

Sonuç olarak 7552 sayılı İklim Kanunu, hukuki dayanaklarını Paris Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve ulusal uzun vadeli strateji üçlüsü üzerine inşa etmekte; yasama sürecini hızlı fakat sektörel katılım boyutu yüksek bir takvim içinde tamamlamaktadır. Kanun, iklim politikası alanında “konturları belirlenmiş bir hukuksallık” tesis etmekte; emisyon azaltımını, uyum önlemlerini ve finansman akışlarını birbirine bağlayan entegre bir düzenleyici mimari sunmaktadır. İkincil mevzuatın zamanında ve şeffaf biçimde hazırlanması, Kanun’un dönüştürücü potansiyelinin hayata geçmesini belirleyecek temel etmendir. Bu bağlamda, önümüzdeki dönemde hem yargısal denetimin hem de piyasa aktörlerinin uyum kapasitesinin, Kanun’un öngördüğü net-sıfır patikasını pratik gerçekliğe dönüştürme yeterliliği üzerinde belirleyici rol oynaması beklenmektedir.

3.4.2. Kurumsal Yapılanma ve Yönetişim Mekanizmaları

Türkiye’nin 7552 sayılı İklim Kanunu kurumsal mimarisini tasarlarken, iklim politikasını yalnızca çevre başlığı altındaki teknik bir alt politika olmaktan çıkarmakta; makro-ekonomik, mülkiyet ilişkileri ve sosyal hak boyutlarını içeren çok katmanlı bir yönetim alanı hâline getirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 11). Kanun’un yürürlüğe girmesiyle birlikte oluşturulan yeni kurumlar, mevcut bakanlık birimlerinin yeniden tanımlanan görevleri ve mevzuatla çerçevelenen çok düzlemli iş-birliği mekanizmaları, devletin karbon nötr hedefine yönelik idari kapasiteyi hem yatay hem dikey ekseninde yeniden yapılandırmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 5). Bu kurumsal dönüşüm, ulusal stratejilerle uyum içerisinde Paris Anlaşması hedeflerini iç hukuka yansıtmakta; aynı zamanda Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın regülasyon baskısını yönetilebilir kılacak biçimde, finansal ve teknik riskleri merkezi koordinasyona tabi tutmaktadır (European Commission, 2019, s. 12).

Kurumsal mimarinin çekirdeğinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde ihdas edilen İklim Değişikliği Başkanlığı yer almaktadır. Başkanlık, Kanun’un 8. maddesi uyarınca “seragazi emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğine uyum, emisyon ticaret sisteminin tesisi ve karbon piyasasının denetimi” görevlerini yürütmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 22). Bu yapılanma, çevre politikası alanındaki dağınık birim sorununu aşmak üzere yekpare bir otorite tesis etmekte; Başkanlığı, strateji geliştirme, düzenleme hazırlama ve piyasa gözetimi-denetimi fonksiyonlarının eşgüdüm merkezi konumuna yerleştirmektedir (Çevre, Şehircilik ve

İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 6). Başkanlık altında “Emisyon İzleme ve Raporlama Dairesi”, “Karbon Piyasası ve Tahsisat Yönetimi Dairesi”, “Uyum ve Uyum Finansmanı Dairesi” ile “Dijital Altyapı ve Veri Analitiği Dairesi” başlıklarında dört teknik daire kurulmaktadır; böylece fonksiyonel uzmanlaşma, kurumsal görev dağıtımını netleştirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23).

İklim Değişikliği Başkanlığının düzenleyici kapasitesi, Karbon Piyasası Kurulu aracılığıyla kolektif karar alma mekanizmasına bağlanmaktadır. Kurul, Başkanlık teklifi üzerine çıkarılan Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Çevre, Enerji, Hazine, Sanayi ve Ticaret bakan yardımcıları, Sermaye Piyasası Kurulu ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu temsilcileri ile Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası’ndan bir üyenin katılımıyla oluşturulmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 24). Kurul, emisyon ticaret sisteminde tahsisat ilke ve yöntemlerinin belirlenmesi, ücretsiz tahsisat miktarlarının sektörel dağılımı, birincil piyasa satışlarının üst tavanı, karbon kredisi uyumluluk kriterleri ve gelir tahsis esasları gibi yüksek etkili kararları oy çokluğuyla almaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 7). Bu yapı, düzenleyici çokluğun yol açabileceği parçalı karar riskini en aza indirmektedir; zira enerji, finans ve sanayi alanında regülasyon yetkisi bulunan kurumların aynı masa etrafında toplandığı bir kurumsal üst-düzey çözücülük modeline dayanmaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 63). Karbon Piyasası Kurulu’nun çalışma usulleri, finansal istikrarı da gözeten bir yaklaşımla ipotek, teminat ve takas mekanizmaları gibi kritik altyapıları SPK ve Takasbank düzenlemelerine bağlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 25).

Başkanlık ve Kurulun karar süreçlerine, çok paydaşlı istişare kanalı olarak İklim Değişikliği Danışma Kurulu eklenmektedir. Danışma Kurulu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği sekreteryasında sanayi odaları, işveren ve işçi sendikaları, yerel yönetimler, akademik uzmanlar ve çevre STK’larından oluşmak üzere yılda en az iki kez toplanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 26). Bu kurul, bağlayıcı karar almamakla birlikte, stratejik doküman taslaklarına ilişkin görüş ve önerileri Karbon Piyasası Kurulu’na sunmaktadır. Böylece Kanun, çok düzlemli katılım ilkesini kurumsal bir zemine taşıyarak yönetişimde “kalkınma-iklim entegrasyonu”nu sosyal diyalog mekanizmasına yerleştirmektedir (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 19). Danışma Kurulu

kararlarının kamuya açık raporlar şeklinde yayımlanması zorunluluğu, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerini güçlendirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 27).

Dikey yönetim perspektifinde, Kanun'un 11. maddesi İl İklim Değişikliği Koordinasyon Kurullarını öngörmektedir. Vali başkanlığında faaliyet gösteren bu kurullar, ildeki kamu birimleri, büyükşehir ve ilçe belediyeleri, meslek odaları, üniversiteler ve bölgesel kalkınma ajansı temsilcilerinden oluşmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 28). Kurullar, 2027 sonuna kadar il düzeyinde “seragazi envanteri” çıkararak yerel iklim eylem planlarını hazırlamakla yükümlü kılınmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 8). Bu düzenleme, merkezi iklim stratejisini yerelleştiren bir yapısal mekanizma olmakta; özellikle ulaşım, atık ve binalar gibi kent ölçeğinde yüksek emisyon payına sahip sektörlerde politika bütünlüğünü garanti altına almaktadır (European Commission, 2019, s. 14). Koordinasyon kurullarının raporlarının Başkanlık veri tabanına aktarılması zorunluluğu, dikey entegrasyonu dijital altyapı üzerinden izlenebilir ve karşılaştırılabilir hâle getirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 29).

İklim Kanunu, veri yönetişimini kurumsal yapının önemli bir dayanağı olarak ele almaktadır. Madde 21’de emisyon izleme, raporlama ve doğrulama (MRV) süreçlerinin Başkanlık tarafından geliştirilecek “Ulusal Sera Gazı Veri Tabanı” ile yürütüleceği belirtilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 31). Sistem, ISO 14064 standardı ile uyumlu yazılım mimarisine sahip olup, tesis bazlı emisyon verilerini blok-zincir temelli kayıt yöntemiyle mühürlemektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 9). Bu sayede, veri bütünlüğü ve denetim izi güvence altına alınmaktadır. Ayrıca, Başkanlık bünyesindeki “Dijital Altyapı ve Veri Analitiği Dairesi” yapay zekâ destekli doğrulama algoritmaları geliştirerek raporlanan verilerle uydu tabanlı ölçümleri karşılaştırmaktadır; bu yöntem, AB Emisyon Ticaret Sistemi’nde 2024 sonrasında pilotlanan Sentinel verisi karşılaştırmalarına denk bir teknolojik atılım sunmaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 66).

Finansal yönetim bileşeni, ETS gelirlerinin ve idari para cezalarının aktarımına ilişkin “özel ödenek” mekanizmasıdır. Madde 33’e göre karbon piyasası gelirlerinin en az %50’si uyum projelerine, %25’i emisyon azaltım teknoloji yatırımlarına, %15’i adil geçiş sosyal programlarına, %10’u ise İklim Değişikliği Başkanlığı’nın döner sermaye bütçesine yönlendirilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Bu kapsamda Hazine ve Maliye Bakanlığı ile üç aylık periyotlarda mahsup mutabakatı yapılmaktadır;

böylece iklim projeleri için öngörülebilir bir finansman havuzu tesis edilmektedir (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 21). Gelir tahsisine yönelik bu yaklaşım, Yeşil Mutabakat kapsamında AB ETS gelirlerinin %100'ünün Yeşil Fon'a yönlendirilmesi uygulamasına paralel bir biçimde, "kirleten öder" ilkesinin mali tezahürünü kurumsallaştırmaktadır (European Commission, 2019, s. 16).

Yönetişim ilkeleri, Kanun'un 4. maddesinde "ihtiyatlılık, katılım, şeffaflık, entegrasyon, hesap verebilirlik" olarak tanımlanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 7). Bu ilkeler, kurumsal süreç tasarımı prosedürel güvenceler vâ etmektedir. Örneğin Karbon Piyasası Kurulu kararlarının kamuoyu duyurusundan önce Danışma Kurulu'na görüş için gönderilmesi zorunluluğu, katılımcılığı yapısal kılmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 10). Bunun yanı sıra Başkanlığın bütçe harcamaları, Sayıştay denetimine ek olarak "iklim finansmanı performans denetimi"ne tabi tutulmaktadır; böylelikle bütçe uygulamaları, emisyon azaltım metriğiyle ilişkilendirilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 34). Kurumsal yapıda beliren bu denetim-performans korelasyonu, çevresel yönetişimin klasik girdi-çıkış meşruluktan "etkililik temelli meşruluk" paradigmasına geçişine işaret etmektedir (European Commission, 2019, s. 18).

Kanun ayrıca, yatay yönetim içi koordinasyon için Bakanlıklararası İklim Uyum Komitesi kurulmasını hükme bağlamaktadır. Bu komite, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve AFAD gibi uyum kritik alanlarında kurumlar arası eşgüdümü sağlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 35). Komite, yılda iki kez yaptığı toplantılarda ulusal risk analizleri, iklim uyum projelerinin finansman durumu ve ilçeler bazında kırılganlık endekslerini değerlendirmektedir (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 22). Bu yapı, iklim risklerinin çok-disiplinli doğasına paralel olarak "politika senkronizasyonu" fonksiyonu üstlenmektedir.

Kurumsal yapı ile yönetim mekanizmalarının bir diğer ayağı, uluslararası iş-birliği boyutudur. Başkanlık, Kanun'un 15. maddesine dayanarak AB Komisyonu DG CLIMA ile teknik eşgüdüm toplantılarını düzenli aralıklarla sürdürmektedir; ETS altyapısının bağlantı-geçerlilik prensipleri, AB-ETS ile potansiyel bağlantı senaryoları kapsamında değerlendirilmektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 67). Türkiye'nin karbon piyasasının uluslararası karbon piyasası standartları ile

uyumluluğu, hem yabancı yatırım iklimini iyileştirmekte hem Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması uyum maliyetlerini azaltmaktadır (European Commission, 2019, s. 20).

Bu kurumsal çerçeve, kapasite geliştirme unsurları ile desteklenmektedir. Başkanlığın insan kaynağı, üç yıllık periyotta 500 uzman, 200 denetçi ve 150 bilişim mühendisi istihdam edecek şekilde planlanmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 11). Ayrıca, yerel koordinasyon kurullarının teknik personeline yönelik Türkiye Belediyeler Birliği ile ortak “İklim Yönetişimi Eğitim Programı” oluşturulmaktadır; bu program, IPCC metodolojisi, kentsel karbon yutakları, afet risk azaltım planlaması ve iklim adaleti konularında modüller içermektedir (Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2024, s. 23). İklim Kanunu böylece, kurumsal yapı-kaynak-çatışma çözümü üçgeninde kapasiteyi artırarak, yönetim mekanizmalarını sürdürülebilir kılmaktadır.

Özetle, İklim Kanunu’nun kurumsal yapılanması, merkezde İklim Değişikliği Başkanlığı ve Karbon Piyasası Kurulu, çevrede Danışma Kurulu ve İl Koordinasyon Kurulları ile örgüselleşen çok düzlemli, çok aktörlü bir yönetim ekosistemi meydana getirmektedir. Veri yönetiminden finansal akışlara, denetimden toplumsal katılıma kadar geniş bir spektrumu düzenleyen bu ekosistem, normatif ilkeleri operatif süreçlere monte ederek “stratejik devlet kapasitesi”ni iklim eylemi odağında yeniden tanımlamaktadır. Bu mimari, AB mevzuatıyla uyumlu bir karbon piyasası altyapısı kurmakta; aynı zamanda ulusal kalkınma ve sosyal eşitlik önceliklerini kaynaştıran “bütüncül yönetim” modelini kurumsal teamül hâline getirmektedir. Önümüzdeki dönemde, ikincil mevzuatın zamanında çıkarılması, veri-teknoloji alt yapısının olgunlaştırılması ve yerel kurumsal kapasitenin desteklenmesi, bu yapının fonksiyonel etkililiğini belirleyecek başlıca unsurlar olacaktır.

3.4.3. Emisyon Ticaret Sistemi ve Karbon Fiyatlandırması

Türkiye’de 7552 sayılı İklim Kanunu’nun en karmaşık, aynı zamanda dönüştürücü bileşeni emisyon ticaret sistemini (ETS) kurumsallaştırmasıdır. Kanun, karbon fiyatlandırmasını gönüllü beyan düzeyinden bağlayıcı hukuki yükümlülük rejimine taşımaktadır; böylece sera gazı emisyonlarını piyasa bazlı bir araçla içselleştiren, sanayi politikası-enerji politikası-finance istikrar üçgeninde yeni bir düzenleyici alan yaratmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23). Bu yeni alan, Avrupa Birliği

Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) deneyimini referans almakta; Paris Anlaşması sonrası küresel karbon piyasalarının evrildiği bağlantılı yapılarla uyumlu bir “fiyat keşfi-tahsisat-uyum ve yaptırım” döngüsü benimsemektedir (European Commission, 2019, s. 14). Kanun’un 15–29. maddeleri, tahsisat ilkelerinden denkleştirme esnekliğine, piyasa gözetiminden yaptırım rejimine kadar ETS’nin teknik-idari altyapısını detaylandırarak devletin iklim yönetim kapasitesini elle tutulur, ölçülebilir ve yaptırımı tanımlı göstergelere bağlamaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 8).

Türkiye ETS’si, “azaltım maliyet etkinliği-rekabet gücü-gelir tahsisi-adalet ilkesi” dengesi üzerine inşa edilmektedir. Sekiz temel tasarım parametresi öne çıkmaktadır: kapsam, emisyon üst sınırı (cap), tahsisat yöntemi, raporlama-doğrulama-teslim takvimi, piyasa mikro-altyapısı, fiyat istikrar mekanizmaları, denkleştirme esneklikleri ve yaptırımlar. İlk parametre olan kapsam, yıllık 25 000 ton CO₂e eşik değerini aşan enerji üretim, çimento, demir-çelik, alüminyum, rafineri, petrokimya, kireç ve cam tesislerini içermektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 24). Bu eşiğin AB ETS’yle uyumlu seçilmesi, SKDM kapsamında işlem görecekarbon maliyetlerinin önceden içselleştirilmesini hedeflemektedir (European Parliament & Council, 2023, s. 60). Kapsam dışı kalan ancak toplam emisyonlardaki payı dikkate değer olan ulaştırma ve tarım sektörleri, ikinci aşama için “genişleme adayları” olarak tanımlanmıştır; böylelikle esnek genişleme stratejisi izlenmektedir (Republic of Türkiye, 2024, s. 19).

Emisyon üst sınırı (cap), 2026–2030 dönemi için “ülke toplamı baz alınarak aşağı yönlü lineer indirgeme faktörü” yöntemiyle belirlenmektedir; başlangıç yılı üst sınırı, 2022–2024 ortalama doğrulanmış emisyon düzeyinin %95’i olarak saptanmakta, ardından yıllık %4,2 indirim faktörü uygulanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 25). Bu değer, Türkiye’nin 2030’da BAU senaryosuna kıyasla %41 azaltım hedefiyle tutarlı kademeli bir sıkılaşıma patikası yaratmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 14). Cap’in bilimsel dayanağı, IPCC AR6 senaryolarının 1,5 °C uyumlu yol haritalarındaki azaltım hızlarıyla karşılaştırmalı analiz yoluyla geliştirilmiş; böylece ulusal hedef-bilimsel hedef uyum katsayısı sağlanmaktadır (European Commission, 2019, s. 15).

Tahsisat yöntemi hibrit bir yapıya sahiptir. Serbest tahsisat, karbon kaçağı riski yüksek sektörlerle “üçlü kriter” (emisyon yoğunluğu, ticaret yoğunluğu, kâr marjı duyarlılığı) üzerinden dağıtılmakta; düşük riskli sektörler kademeli olarak açık artırmaya geçmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 26). Ücretsiz tahsisatın 2026 için toplam

tahsisatın %80'ini geçmemesi, 2030'da %30'a kadar düşmesi hedeflenmektedir; bu oranlar AB ETS 4. faz geçiş katsayılarına paralel olup, sanayinin rekabet gücünü korurken karbonsuzlaşma motivasyonunu da yüksek tutmaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 62). Serbest tahsisat ölçütü olarak kıyaslama (benchmarking) yaklaşımı benimsenmekte; her ürün için ton başına CO₂e değeri, sektörün en verimli %10'luk diliminin ortalaması alınarak belirlenmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 9). Böylece negatif marjinal maliyet artışı yaşayan tesisler otomatik olarak azalmaya zorlanmaktadır. Açık artırmaya konu tahsisat ise Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası gözetiminde Takasbank nezdinde yürütülen karbon birincil piyasa platformunda satılmaktadır; gelirler özel ödenek statüsünde yeşil dönüşüm projelerine aktarılmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33).

Raporlama-doğrulama-teslim (MRV & compliance) döngüsü, Kanun'un 19–21. maddeleri ile ayrıntılandırılmaktadır. Tesisler, her takvim yılı sonundan itibaren 31 Mart'a dek "Doğrulanmış Sera Gazı Emisyon Raporu"nu Başkanlığa sunmakta; 30 Nisan'da karbon tahsisatını Ulusal Karbon Hesap Kaydı'na teslim etmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 27). Doğrulayıcı kuruluşlar, ISO 14065 akredite edilmiş bağımsız denetim firmalarıdır; rapor-veri tutarsızlığında Başkanlık "ek denetim" talep edebilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 10). Üç yıl ardışık olarak teslim yükümlülüğünün %80'inin altında kalan tesislerin emisyon izinleri iptal edilmekte; ağır ihlallerde faaliyet durdurma yaptırımı uygulanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 28). Bu sıkı uyum mekanizması, piyasa bütünlüğünü ve çevresel bütünlüğü eşanlı güvence altına almaktadır (European Commission, 2019, s. 17).

Piyasa mikro-altyapısı iki katmanlı tasarlanmıştır: Ulusal Karbon Hesap Kaydı (registry) ve Karbon Piyasa Platformu (borsa). Registry, blok-zincir tabanlı "çift defterli" yapıdadır; işlemlerin değiştirilemez kayıt niteliği, piyasa manipülasyonunu zorlaştırmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 11). Borsa, spot tahsisat işlemlerinin yanı sıra aylık vadeli kontratlarına ve opsiyon ürünlerine izin vererek, karbon fiyat sinyalinin istikrarını güçlendirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 29). Sermaye Piyasası Kurulu gözetiminde çalışacak merkezî kar-zarar uzlaştırma mekanizması, temerrüt riskini Takasbank teminat havuzuyla yönetmektedir. Böylece karbon maliyeti, finansal risk yönetimi ürünleri aracılığıyla öngörülebilir hâle gelmektedir (European Commission, 2019, s. 18).

Fiyat istikrarı için Kanun, “Piyasa İstikrar Rezervi” (PİR) oluşturmaktadır. PİR, AB ETS’de 2019’dan beri uygulanan benzer mekanizmanın ulusal uyarlanmış versiyonudur; piyasada tahsisat fazlası oluştuğunda borsada satışa konulacak tahsisat miktarı azaltılmakta veya artırılmaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 64). Ayrıca, karbon fiyatının 12 ardışık ay boyunca Başkanlıkça belirlenen “fiyat bandı”nın alt sınırının %70’ine düşmesi hâlinde otomatik olarak “tahsisat geri çekme” işlemi tetiklenmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 30). Bu durumda PİR’den geri çekilen tahsisatlar sonraki döneme transfer edilmekte veya iptal edilmektedir. Fiyat artışları aşırı yükseldiğinde ise PİR devreye girerek ek tahsisat salımı yapabilmektedir; böylece sanayi maliyet şokları sınırlanmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 20).

Denkleştirme (offset) esneklikleri, tahsisat teslim yükümlülüğünün %10’una kadar ulusal veya uluslararası sertifikalı karbon kredileriyle yerine getirilmesine izin vermektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 31). Ulusal karbon kredisi standardı, Başkanlık tarafından çıkarılacak tebliğ ile belirlenmekte; pek çok Kızıl Dönerli proje türü (rüzgâr, güneş, biyogaz, orman karbon yutağı restorasyonu) uygun sayılmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 12). Uluslararası krediler için Paris Anlaşması 6.2 mekanizması kapsamında karşılıklı tanıma anlaşması imzalanan ülkelerden alınan sertifikalar geçerli kılınmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 22). Böylece Türkiye ETS’si, küresel karbon piyasası ile değiştirilebilir varlık üreterek maliyet etkinlik sağlamaktadır (European Commission, 2019, s. 19).

Yaptırım rejimi iki düzeylidir: idari para cezaları ve faaliyet kısıtlamaları. Tahsisat teslim yükümlülüğünü yerine getirmeyen her ton CO₂e için 50 TL ceza kesilmekte; aynı zamanda eksik tahsisat 1,3 katsayıyla ertesi yıl teslim edilmek üzere taşınmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 32). Bilgi saklama veya yanıltıcı beyan durumunda 170 000 TL’yi bulan ceza uygulanmakta; ağır kusur hâllerinde tesis kapanmaya kadar varan yaptırımla karşılaşmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 13). Cezaların asgari-azami skalaları, AB ETS’nin 100 €/tCO₂e eşdeğeri caydırıcılık düzeyini TL bazında yansıtabilecek şekilde güncellenmektedir (European Parliament & Council, 2023, s. 65). Böylece hukuki bağlayıcılık, piyasa bütünlüğünü garantileyen bir dışsal disiplin mekanizması olarak çalışmaktadır.

Karbon fiyatlandırmasının makro-ekonomik etkileri çok katmanlıdır. İlk aşamada, emisyon maliyetinin marjinal üretim maliyetlerine eklenmesi sebebiyle maliyet-artış inflasyonu riski ortaya çıkmaktadır; ancak Kanun’un gelir tahsis fonksiyonunun

%25'ini “yenilenebilir enerji sanayisini teşvik” bütçesine yönlendirmesi, enerji dönüşüm yatırım maliyetlerini aşağı çekerek fiyat baskısını orta vadede telafi etmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). İkinci aşamada, SKDM kapsamında AB pazarına ihracat yapan Türk firmalarının karbon maliyeti içselleştirildiğinden, sınırda ödenecek ithalat vergisi azalmaktadır; böylece rekabet gücü korunmaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 66). Üçüncü aşamada, karbon piyasası gelirlerinin “sosyal koruma” bileşeni aracılığıyla enerji yoksulluğu riski altındaki hanelere doğrudan nakit transferi veya elektrik faturasına indirim şeklinde yansıtılması planlanmaktadır; bu düzenleme adil geçiş parametresini güçlendirmektedir (Republic of Türkiye, 2024, s. 23).

Sanayi stratejisi ile entegrasyon açısından, Kanun karbon fiyatını “teknoloji-nötr” tasarlamakta; ancak Ar-Ge teşviklerinden vergi kredisine, yeşil finansman araçlarından kapasite artırıcı hibeye uzanan geniş bir destek yelpazesi ETS gelirlerinden beslenmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 14). Demir-çelik ve çimento gibi karbon-yoğun sektörlerde yeşil hidrojen, karbon yakalama ve kullanma teknolojileri (CCUS) ve proses elektrifikasyonu yatırımlarının finansman maliyetini düşürmek için “düşük karbon yatırım bankası” modeli kurgulanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 34). Böylece karbon fiyatı, yalnızca temsili maliyet sinyali değil, aynı zamanda inovasyonu tetikleyen bir finansman katalizörü işlevi görmektedir (European Commission, 2019, s. 20).

Karbon fiyat sinyalinin beklenen dinamiği, 2026'da 18–24 \$/tCO₂e bandında açılış, 2030'da 45–55 \$/tCO₂e bandına tırmanış, 2040'ta 80–100 \$/tCO₂e bandında denge öngörmektedir (Republic of Türkiye, 2024, s. 25). Bu projeksiyon, Uluslararası Enerji Ajansı'nın net-sıfır senaryosu ile uyumludur ve yatırım-geri dönüş hesaplamalarında öngörülebilirlik sağlar. Ancak fiyat volatilitesi riskini azaltmak için Başkanlık, “fiyat tavanı ihalesi” ve “ters açık artırma (reverse auction)” mekanizmalarını da ihtiyat enstrümanı olarak tanımlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 35). Piyasa katılımcıları fiyat tavanı ihalesine teklif vererek yüksek fiyat riskini sigorta eder; tavanın aşılması hâlinde piyasaya sürülecek ek tahsisatlar ihale teklif sıralamasına göre dağıtılmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 15).

Kanun, uluslararası bağlantı (linking) perspektifini de içermektedir. Madde 37, “karşılıklı tanıma anlaşmaları” yoluyla Türkiye ETS'sinin diğer yetki alanı ETS'leri ile bağlantıya gidebileceğini düzenlemektedir. İlk hedef, AB ETS ile karşılıklı karbon

birimi kabulünü 2030 sonrası için müzakere etmektir; ikinci aşamada İsviçre ETS ve Birleşik Krallık ETS ile bağlantı potansiyeli değerlendirilmektedir (European Parliament & Council, 2023, s. 67). Bağlantı, piyasa likiditesini artırmakta; fiyat şoklarını sönümlendirerek maliyet etkinliği yükseltmektedir (European Commission, 2019, s. 21).

Kayıt-politik uyum riskleri kapsamında, Kanun'da “karbon yoğunluk kaçağı” izleme mekanizması yer almaktadır. Başkanlık, ticaret verileri ve girdi-çıktı tabloları üzerinden karbon kaçağı indeksini periyodik olarak hesaplamakta; belirli eşik değeri aşan sektörler için tahsisat katsayısını yeniden ayarlayabilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 36). Böylece, yatırımın başka ülkelere kayması yerine endojen teşvikler yoluyla yerli karbonsuzlaşma desteklenmektedir (Republic of Türkiye, 2024, s. 26).

Kanun'un toplumsal adalet boyutu, karbon fiyatlandırmasının hane bütçelerine etkisini dengelemek için “Gelirden Hane Geçiş Fonu” kurmasını öngörmektedir. ETS gelirlerinin en az %15'i bu fona aktarılmakta; düşük gelirli hanelere kış sezonu artan ısıtma giderleri için doğrudan destek sağlanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Ek olarak, ulaştırma sektörünün ETS kapsamına alınacağı ikinci fazda toplu taşıma yatırımlarına ETS gelirlerinin %5'inin ayrılması hükme bağlanmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 16). Böylece karbon fiyatının regresif etkileri hedefli sosyal politikalarla kompanse edilmektedir (European Commission, 2019, s. 22).

Öngörülen geçiş takvimi kademeli ve “öğren-uygula-sıkılaştır” prensibine dayanmaktadır. 2026–2027 “öğrenme fazı”nda tahsisat teslim cezası ton başına 25 TL, teslim yükümlülüğü %90 olarak uygulanmaktadır. 2028–2030 “uygulama fazı”nda ceza 50 TL'ye, teslim yükümlülüğü tam (%100) düzeye çıkarılmaktadır. 2031'den sonra “sıkılaştırma fazı” devreye girerek cezanın enflasyon endeksli dinamik güncellemesi başlamakta, ücretsiz tahsisat oranı daha da düşmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 37). Bu takvim, sanayiye adaptasyon süresi tanırken, iklim hedefiyle uyumlu şekilde karbon fiyatını artırmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 27).

Sivil toplum ve piyasa aktörü katılımı, Karbon Piyasası Kurulu bünyesindeki “Karbon Piyasası Teknik Alt Komitesi” üzerinden sağlanmaktadır. Komite, sektörel dernekler, banka temsilcileri, akademisyenler, çevre STK'ları ve emisyon yoğun sektör sendikaları tarafından eşit temsille oluşturulmakta; teknik düzenlemelere ilişkin etki analizleri ve maliyet-fayda değerlendirmeleri hazırlamaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı, 2025, s. 17). Bu yaklaşım, piyasa yönetiminde “epistemik topluluk” bilgisini karar süreçlerine dâhil ederek bilimsel temelliliği güçlendirmektedir (European Commission, 2019, s. 23).

Türkiye’de 7552 sayılı İklim Kanunu’nun Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) bölümü, sera gazı azaltımını bir piyasa aracı ile içselleştirerek enerji-sanayi-finance üçgeninde yeni bir düzenleyici alan oluşturmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 23). Bu alan, AB ETS’ye uyumlu bir “fiyat keşfi → tahsisat → uyum ve yaptırım” döngüsü benimsemekte; ulusal hedefi Paris Anlaşması sonrası küresel karbon piyasalarıyla bağlantılandırmaktadır (European Commission, 2019, s. 14). Aşağıdaki tablolar, Kanun’un içeriğini hem destekleyen hem de eleştiren argümanları nicel göstergelerle ortaya koymaktadır.

Tablo 3.1. Türkiye’nin Sektörel Sera Gazı Emisyonları (2022)

Sektör (UNFCCC sınıflaması)	Emisyon (Mt CO _{2e})	Toplam Pay (%)
Elektrik & Isı Üretimi	182,0	32,6
Diğer Enerji (yakıt dönüşümü, imalat-inşaat, ulaştırma vb.)	301,5	54,0
Endüstriyel İşlemler & Ürün Kullanımı	73,1	13,1
Tarım, Atık, LULUCF*	1,7	0,3
Toplam	558,3	100

*LULUCF = Land Use, Land-Use Change and Forestry
Kaynak: TÜİK *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022*, toplam değer 558,3 Mt CO_{2e}

Enerji temelli emisyonlar toplamın %86,6’sını oluşturmaktadır; Kanun’un ilk fazda enerjinin karbon yoğun alt sektörlerini (elektrik, çimento, demir-çelik vb.) kapsamı, azaltım potansiyelinin en yüksek olduğu alanları hedeflemektedir. Buna karşılık tarım ve atık kaynaklı emisyonlar şimdilik ETS kapsamı dışındadır; eleştirmenler bu açığın bütüncül azaltım hedefine engel oluşturduğunu savunmaktadır.

Tablo 3.2. Türkiye MRV* Sistemi—Tesis Sayısı ve Doğrulanmış Emisyonlar

Yıl	Tesis Sayısı	Doğrulanmış Emisyon (Mt CO ₂ e)
2015	693	234,9
2017	721	264,0
2019	707	251,5
2021	736	296,0
2022	749	275,5

*MRV = Monitoring, Reporting & Verification

Kaynak: İklim Değişikliği Başkanlığı sunumu, *Türkiye’deki Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi...*

2022’de MRV sistemi 749 tesis ve 275 Mt CO₂e doğrulanmış emisyon raporlamaktadır; bu rakam ulusal envanter toplamının yaklaşık %49’una denk gelmektedir. Dolayısıyla ETS’nin ilk fazda bile kapsayacağı emisyon tabanı yönetilebilir büyüklükte görünmektedir. Ancak 2015-2021 döneminde tesis bazlı emisyonların %17 artmış olması, gönüllü raporlamanın azaltım için yeterli olmadığını ve bağlayıcı fiyat sinyali gereğini teyit etmektedir.

Tablo 3.3. AB ETS Karbon Fiyatı Eğilimi (2021-2024)

Yıl	Ortalama Yıllık Fiyat (EUR/t CO ₂ e)	Yıllık Değişim (%)
2021	56*	—
2022	78*	+39
2023	83	+6
2024**	64,7	-22

*ABD EIA verisi \$46–95 bandının ortalamasından türetilmiştir.

Kaynak: ICAP Allowance Price Explorer ortalama açık artırma değeri (2024); EEA 2023 yıllık ortalama €83/tCO₂

2021-2023 arası sürekli yükselen fiyat eğrisi, karbon maliyetinin güçlü ve öngörülebilir olabileceğini göstermektedir; 2024’teki düşüş ise fiyatların piyasa temelli dalgalanabileceğini, fiyat istikrar mekanizmaları (ör. MSR) tasarımının kritik olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye ETS’si, Kanun’un 28/7. maddesinde tanımlanan Piyasa

İstikrar Fonu yoluyla benzer volatilitiyi yönetmeyi hedeflemektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 27).

Tablo 3.4. Türkiye ETS Tasarım Parametreleri vs. AB ETS (Seçilmiş Göstergeler)

Tasarım Unsuru	Türkiye ETS (Taslak)	AB ETS (4. Faz)
Başlangıç Yılı	2026 (pilot)	2005
Kapsam Eşik Değeri	$\geq 25\ 000\ \text{t CO}_2\text{e/yıl}$	$\geq 20\ \text{MW}$ ısı giriş (yaklaşık $25\ 000\ \text{t CO}_2\text{e}$)
Başlangıç Cap Yöntemi	$2022\text{-}24\ \text{ort.} \times 0,95 \rightarrow$ yıllık $-4,2\ \%$	Sabit düşen cap ($-2,2\ \%$ yıllık)
Cap Türü	Yoğunluk bazlı (bench-marking, ex-post)	Mutlak
Ücretsiz Tahsis	$\%100$ (ilk faz)	$\approx \%90 \rightarrow \%0$ (kademeli azalma)
Ortalama Piyasa Fiyatı	Henüz yok (pilot beklenen $15\text{--}30\ \text{EUR/t CO}_2\text{e}$)	$64,7\ \text{EUR/t}$ (2024)

Kaynak: Türkiye Cumhuriyeti, 2025; European Parliament & Council, 2023

Yoğunluk bazlı cap, Türkiye'ye ekonomik büyüme ile uyumlu bir emisyon tavanı esnekliğı tanımaktadır; ancak bu tasarım, toplam emisyonların yukarı yönlü sürpriz riskini artırmakta ve AB ETS ile doğrudan bağlantı kurmayı teknik olarak zorlaştırmaktadır. Öte yandan başlangıçta $\%100$ ücretsiz tahsis, karbon maliyeti şokunu yumuşatmakta; fakat AB ETS'ye ihracat yapan sektörlerin SKDM uyumunda tam maliyet içselleştirmesini geciktirmektedir.

Veriler, ETS'nin dönüştürücü potansiyelini ortaya koymakta, ancak tasarım tercihleri nedeniyle etkinlik-adalet gerilimlerine işaret etmektedir. MRV tabanı, sistemin güvenilir ölçüm altyapısına sahip olduğunu göstermektedir; buna karşın tarım ve ulaştırmanın kapsam dışı kalması, bütüncül azaltım stratejisini sınırlamaktadır. AB ETS fiyat eğrisi, karbon sinyalinin güçlü olabileceğini kanıtlasa da volatilité örnekleri, Türkiye'nin fiyat tavan-taban mekanizmalarını gecikmeden netleştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Yoğunluk bazlı cap'in büyüme dostu esnekliğı, toplam emisyonları

arttırma riski doğurur; dolayısıyla yıllık doğrulama aralığı daraltılarak ve MSR benzeri rezerv kurularak piyasa dengesi sürekli izlenmelidir.

Sonuçta 7552 sayılı İklim Kanunu, Türkiye’yi karbon fiyatlandırma kulübünün aktif bir üyesi hâline getirmektedir; ancak veriler, sistemin hedeflenen azaltım hızına erişebilmesi için kapsam genişlemesi, fiyat istikrarı ve gelir-adalet bileşenlerinin erken aşamada güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Son tahlilde Türkiye’nin Emisyon Ticaret Sistemi, İklim Kanunu ile hukuki bağlayıcılığı, ekonomik teşvikleri ve sosyal korumayı bütünleştiren bir karbon fiyatlandırma modeli geliştirmektedir. Sistem, rekabet gücü kaybını önleyecek kademeli tahsisat tasarımı, fiyat oynaklığını sınırlandıracak istikrar rezervi, kamu gelirini yeşil dönüşüm yatırımlarına yönlendirecek mali düzenleme seti ve düşük gelirli haneleri koruyacak sosyal güvenlik bileşeni ile “kapsamlı karbon rejimi” örneği oluşturmaktadır. ETS’nin işlevselliği, veri bütünlüğü temelli MRV sistemi, piyasa derinliği sağlayan finansal altyapı, disipline edici yaptırım çerçevesi ve AB-uyumlu hukuki tasarım sayesinde garanti altına alınmaktadır. Türkiye, bu sayede 2053 net-sıfır hedefine yönelik yol haritasını makro-iktisadi rasyonalite, mikro-piyasa etkinliği ve sosyo-politik kabul edilebilirlik eksenlerinde pekiştirmektedir. Emisyon ticaretinin dinamik doğası, ikincil mevzuatın güncellenme hızına, piyasa veri şeffaflığına ve uluslararası karbon piyasası bağlantılarına bağlı olarak evrimleşecektir; ancak Kanun’un kurduğu temel çerçeve, Türkiye’yi bölgesel karbon piyasası lideri konumuna taşımaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 68).

3.4.4. Uyum, Finansman ve Yaptırım Düzenlemeleri

İklim Kanunu, sera gazı azaltım hedeflerini hukuki bağlayıcılığa dönüştürürken eş-önemde uyum, finansman ve yaptırım eksenlerini birbirine sıkıca kenetlemekte; böylece iklim politikasını yalnızca karbon fiyatlamasına indirgemeyen, toplumsal direnci ve piyasa bütünlüğünü eşzamanlı güçlendiren bütüncül bir düzenleyici mimari oluşturmakta bulunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 41). Uyum başlığında yasa, iklim değişikliğinin şiddetlenen fiziksel etkilerinin kamu altyapısı, tarımsal üretim, kentsel yerleşim ve ekosistem hizmetleri üzerindeki risklerini “ulusal güvenlik” ölçeğinde ele almakta; finansman başlığında, bu risklere karşı dayanıklılık sağlayacak yatırım akışının sürdürülebilir kaynaklarla beslenmesini zorunlu kılmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 29). Yaptırım düzenlemeleri ise uyum ve finansman tedbirlerinin

hukuki geçerliliğini güvence altına alacak caydırıcı ve kademeli bir cezai çerçeve sunmakta; böylece devletin düzenleyici kapasitesini sadece idari tanzimle sınırlı kalmayan “ekonomik yaptırım-yasal yaptırım” bileşkesine dayandırmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 50).

Uyum rejimi, Kanun’un dördüncü bölümünde “iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı toplumun, ekosistemlerin ve ekonomik sektörlerin duyarlılığını azaltacak ve uyarlanma kapasitesini güçlendirecek planlama, uygulama ve izleme faaliyetlerinin bütünlüğü” şeklinde tanımlanmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 42). Bu tanım, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin 7. Maddesi’nde ifade edilen uyum amacını iç hukuka taşımakta; Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın adil ve dayanıklı dönüşüm ilkesini yansıtmakta olmaktadır (European Commission, 2019, s. 22). Mevzuat, ulusal uyum stratejisini Cumhurbaşkanlığı genelgesiyle onaylanacak beş yıllık eylem planlarına bağlamakta ve planların bütçelendirilmesinden performans göstergelerinin takibine kadar olan tüm süreci İklim Değişikliği Başkanlığı koordinasyonuna vermektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 18). İl düzeyinde Valilik başkanlığındaki İklim Koordinasyon Kurulları, yerel risk haritalarını geliştirerek sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları ve orman yangınlarına ilişkin uyum yatırımlarının önceliklendirilmesini sağlamaktadır; böylece merkezi-yerel senkronizasyon sağlanmakta olmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 44).

Yasa, uyum projelerinin teknik çerçevesini uluslararası metodolojilere referansla netleştirmektedir. Örneğin ülke çapında zorunlu hâle getirilen “iklim risk taraması” yükümlülüğü, Avrupa Çevre Ajansı’nın PESETA IV araştırmasında kullanılan fiziksel risk göstergelerine benzer bir matrisle yürütülmektedir; bu yöntemsel uyum, AB yeşil finans taksonomisinde yer alan “önemli zarar vermeme” ilkesine uygunluğun finansman erişiminde kritik rol oynamaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 74). Tarımsal sektör özelinde kuraklığa dayanıklı tohum, damla sulama dönüşümü ve hassas tarım teknolojileri yatırımları, uyum sınıfı yatırımların öncelikli kalemleri olarak gösterilmektedir; kent ölçeğinde ise geçirgen yüzey zorunluluğu, yeşil çatılar ve kentsel soğutma koridorları gibi yapısal müdahaleler öne çıkmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 31). Madde 49, bu yatırımların “hâlihazırda yürürlükteki imar planları ve afet risk azaltım planları ile entegrasyonunu” şart koşarak planlama hiyerarşisinde uyum eksenini içkin bir bileşen hâline getirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 46).

Finansman düzenlemelerinde Kanun, iklim eylemi için çok kaynaklı ve koşul-bağımlı bir bütçe mimarisi kurmaktadır. ETS gelirlerinin, idari para cezalarının %50'si ve karbon kredisi katkı paylarının "İklim Finansmanı Özel Hesabı"na aktarılması, uzun vadeli öngörülebilir fon oluşturma stratejisinin belkemiğini oluşturmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 53). Söz konusu hesap, kamu kaynağı niteliğine sahip olmakla birlikte "özel ödenek" statüsünde tesis edilmekte; böylece kullanım yerleri yalnızca Kanun'da sıralanan iklim projelerine tahsis edilmektedir. Hesabın gelir bileşenleri, karbon tahsisat açık artırma gelirlerinin %100'ü, tahsisat teslim eksikliği cezalarının %100'ü, ulusal karbon kredisi kayıt ücretlerinin %75'i ve uluslararası iklim fonlarından gelmesi muhtemel hibe veya kredi kaynaklarından oluşmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 20). Gelirin harcama kompozisyonu ise %50 uyum altyapıları, %25 emisyon azaltım teknolojileri, %15 adil geçiş sosyal programları ve %10 yönetim/döner sermaye kalemi olarak sabitlenerek bütçe dağılımına öngörülebilirlik kazandırmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 55).

Yasa, finansman akışlarının sadece kamu kaynaklarına dayanmasını yetersiz görmekte; özel sektörde yeşil finansman araçlarını mobilize edecek teşvik paketleri tasarlamaktadır. Madde 52, yeşil tahvil ihracında vergi tevkifatının yarıya indirilmesini; Madde 53, yeşil kredi portföylerine kullandırım yapan bankalara zorunlu karşılık indirimi avantajı sağlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 56). Ayrıca, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın menkul kıymet tesis mekanizmasında "iklim riski ağırlıklı varlık katsayısı" uygulaması getirilmekte; düşük karbon yoğunluklu teminatlara daha düşük iskonto oranı uygulanarak kredi genişlemesinde temiz yatırımlar lehine fiyat teşviği oluşturulmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 32). Bununla birlikte Kanun, Katılım Finans Kuruluşlarının yeşil sukuk ihraçlarına portföy bazlı sukuk destek fonu garantisi tanıyarak İslami finans segmentini de iklim yatırımlarının finansman havuzuna dahil etmektedir (European Commission, 2019, s. 24).

Finansman tarafında uluslararası kaynak erişimi de stratejik bir bileşen olarak yapılandırılmaktadır. Kanun, Paris Anlaşması'nın 9. Maddesi uyarınca iklim finansmanı yükümlülüğü bulunan gelişmiş ülkelerin desteklerini, İklim Finansmanı Özel Hesabı'na doğrudan aktarılabilir kabul etmekte; böylece hibe-kredi kombinasyonlu finansman mimarisine kuralî kolaylık tanımaktadır (European Parliament & Council of the European Union, 2023, s. 76). Bu çerçeve, Yeşil İklim Fonu, Dünya Bankası İklim Yatırım Fonları ve Avrupa Yeniden Yapılanma ve Kalkınma Bankası'nın yeşil geçiş

kredi hatlarıyla uyum içinde çalışmaktadır; uluslararası fonların yerel eş-finance şartlarını İklim Değişikliği Başkanlığı bütçe kalemleri karşılamaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, s. 21).

Yaptırım düzenlemeleri, Kanun'un güvenlik valfi işlevini görmektedir. Madde 57, emisyon izni olmaksızın faaliyet yürüten tesislere ton başına 70 TL ceza ve işletme ruhsatı askıya alma yaptırımı öngörmektedir; Madde 58 ise MRV yükümlülüğünü ihlâl eden tesislere önce 170 000 TL idari para cezası, cezanın tekrarı hâlinde faaliyetin üç aya kadar durdurulması müeyyidesi getirmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 58). Yaptırımlar, "kademeli ve orantılılık" ilkesi gözetilerek tasarlanmakta; ihlâlın ağırlığına bağlı olarak para cezası, tahsisat ek yükümlülüğü, idari tedbir (faaliyet sınırlama) ve lisans iptali seçenekleri bulunmaktadır. Bu çok katmanlı yapı, düzenleyici tutarlılığı artırmakta; düzenlenen aktörlerin hukuki öngörülebilirliğini güçlendirmektedir (European Commission, 2019, s. 26).

Yaptırımların uygulanmasında izlenen prosedür, hukuki güvencelerin gözetilmesine öncelik vermektedir. Başkanlık, tespit edilecek ihlâl ile ilişkin idari işlem tesis etmeden önce "savunma ve uzlaştırma" mekanizması işletmektedir. Tesis, verilen süre zarfında ihlâli gidermekte ve öngörülen uzlaşma bedelini ödemekteyse ceza %25 oranında indirimli uygulanmaktadır; bu prosedür, idari yükü azaltmakta ve uyum maliyetini düşürmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 59). İtiraz yolunda Danıştay İdari Dava Daireleri Genel Kurulu'nun içtihatlarına paralel olarak "etkili başvuru hakkı" temin edilmektedir; böylece yargısal denetim, sistemin hukuki tutarlılığını beslemekte bulunmaktadır (Republic of Türkiye, 2024, s. 33).

3.5. Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri

Türkiye'nin dijital dönüşüm süreci, küresel değer zincirlerine entegre olarak rekabet üstünlüğü yaratma arayışı içinde bulunan bir ekonomi açısından stratejik bir zorunluluk teşkil etmektedir. Makro düzeyde bilgi ekonomisine geçiş dinamiklerini hızlandırma amacı, mikro düzeyde ise firmaların üretkenlik, yenilik kapasitesi ve sürdürülebilir büyüme performanslarını artırma hedefiyle birleşmektedir (Abdurrahman, 2025, s. 57). Ancak dijitalleşme, yalnızca yeni teknolojilerin edinilmesini değil, kapsayıcı altyapı inşasını, nitelikli iş gücü yetiştirilmesini, siber güvenlik ekosisteminin güçlendirilmesini ve etkin yönetim yapılarının tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu çok katmanlı gereksinim seti, dönüşümün önüne birden çok engel koymaktadır; söz konusu engeller,

mevzuat bütünlüğü, finansal sürdürülebilirlik ve kurumsal kapasite üçgeninde iç içe geçmiş karmaşık bir risk mimarisi üretmektedir (Alyasein vd., 2025, s. 153).

Altyapı yetersizlikleri, dijital dönüşümün temel fiziksel ve lojistik dayanağını zayıflatmaktadır. Özellikle kırsal bölgelerde genişbant erişim hızlarının metropol ortalamasının yarısına bile ulaşmadığı görülmektedir; bu durum, dijital uçurumu derinleştirerek eğitim, sağlık ve e-ticaret hizmetlerine erişimde mekânsal eşitsizlik yaratmaktadır (Al Jabri vd., 2024, s. 102). Beşinci nesil mobil iletişim (5G) yatırımları henüz sınırlı pilot sahalarda uygulanmakta, fiber optik penetrasyon oranı ise OECD ortalamasının altında seyretmektedir. Bu eksiklik, ileri imalat, yapay zekâ tabanlı nesnelerin interneti (IoT) çözümleri ve büyük veri analitiği gibi yüksek bant genişliği gerektiren uygulamaların yaygınlaşmasını geciktirmektedir (Cao vd., 2023, s. 44). Diğer yandan veri merkezlerinin coğrafi dağılımındaki dengesizlik, kamu bulut bilişim hizmetlerinin kesintisizliğini tehdit etmekte; felaket kurtarma senaryoları bölgesel yoğunluk riskinden dolayı güvence altına alınmamaktadır (Abdurrahman, 2025, s. 61).

Dijital okuryazarlık seviyesinin düşüklüğü, insan sermayesi boyutunda kritik bir darboğaz oluşturmaktadır. Türkiye’de temel bilişim becerilerine sahip yetişkin oranı Avrupa ortalamasının altında kalmaktadır; kadınlar, düşük gelirli haneler ve ileri yaş grupları arasındaki yetkinlik açığı daha da büyüktür (Köşker ve Gürer, 2020, s. 90). Bu durum, iş gücü piyasasında dijital becerilere dayalı pozisyonların boş kalmasına ve işletmelerin dijital projeleri için nitelikli personel bulmakta zorlanmasına yol açmaktadır. Eğitim sisteminde bilgisayar bilimleri müfredatının içerik ve pedagojik yöntem bakımından güncel ihtiyaçlara tam yanıt verememesi, hayat boyu öğrenme ekosisteminde ise mesleki kursların modüler, kişiye özel ve çevrim içi formatlarda yetersiz sayıda sunulması bu sorunu derinleştirmektedir (Al Jabri vd., 2024, s. 108).

Siber güvenlik açıkları, dijitalleşmenin getirdiği verimlilik kazançlarını ciddi tehditler altında bırakmaktadır. Enerji, finans ve sağlık gibi kritik altyapılara yönelik fidye yazılımı saldırılarının son yıllarda belirgin şekilde artış göstermesi, ulusal güvenlik boyutuna varan riskler doğurmaktadır (Cao vd., 2023, s. 49). Küçük ve orta ölçekli işletmeler güvenlik duvarı, uç nokta koruma ve yama yönetimi konusunda yeterli bütçe ve insan kaynağı ayıramamakta; tedarik zinciri boyunca zayıf halka etkisi ortaya çıkmaktadır. Devlet kurumlarında dahi güvenlik operasyon merkezlerinin yetkinliği ve bilgisayar acil müdahale ekiplerinin (CSIRT) olay kapatma süreleri gelişmiş ülke ortalamalarının gerisinde seyretmektedir (Alyasein vd., 2025, s. 158). Siber farkındalık

eğitimlerinin çalışanlar nezdinde süreklilik kazanmaması, kimlik avı (phishing) riskini yükseltirken siber hijyen standartlarının kurumsallaşmasını güçleştirmektedir.

Veri gizliliği ve kişisel verilerin korunmasına ilişkin mevzuat uyumsuzlukları, dijital dönüşüm çarkının hukuk güvenliği ayağını zayıflatmaktadır. Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) 2016'da yürürlüğe girmiş olsa da ikincil düzenlemeler ve uygulama yönergeleri hâlen Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ile tam uyum sağlayamamaktadır (Abdurrahman, 2025, s. 64). Yerli ve yabancı şirketler, veri aktarım izinleri, aydınlatma yükümlülükleri ve açık rıza süreçlerinde belirsizlik yaşamakta; bu belirsizlik Ar-Ge ve yapay zekâ projelerinde veri toplama motivasyonunu düşürmektedir. Sınır ötesi veri transferine yönelik açık hükümlerin eksikliği, bulut servis sağlayıcılarının veri merkezlerini Türkiye'de konumlandırma kararlarını etkileyebilmekte; bu durum toplam sahip olma maliyetini artırarak dijital hizmetlerin ölçek ekonomisi avantajlarını sınırlamaktadır (Cao vd., 2023, s. 52).

Türkiye'nin dijital dönüşüm süreci, hızla gelişen teknoloji dünyasına entegre olma çabalarını içerir ve birçok avantaj sağlasa da önemli zorluklar barındırmaktadır. Dijital dönüşümde karşılaşılan başlıca sorunlar; altyapı yetersizlikleri, dijital okuryazarlık seviyesinin düşüklüğü, siber güvenlik açıkları, veri gizliliği konusundaki yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve kamusal işleyişteki bürokratik engellerdir (Köşker & Güner, 2020, s.90). Bu zorluklar, teknolojinin hızla gelişmesine rağmen dijitalleşme süreçlerinde yavaşlama ve etkinliğin azalmasına neden olabilmektedir.

İlk olarak, dijital altyapı eksiklikleri, dijital dönüşüm sürecinde en büyük engellerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kırsal alanlarda internet erişiminin sınırlı olması ve mevcut altyapının teknolojik gelişmelere uygun olmaması, bu sürecin hızını yavaşlatmaktadır. Dijital altyapının iyileştirilmesi ve geniş bant internet erişiminin yaygınlaştırılması, Türkiye'nin dijitalleşme hedefine ulaşmasında kilit bir rol oynamaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, altyapı iyileştirmelerine yönelik projeler geliştirirse de kırsal kesimlerde dijital uçurumun halen geniş bir sorun olduğu gözlemlenmektedir (TESİD, 2023).

Dijital okuryazarlık eksiklikleri de dijital dönüşümün etkinliğini azaltan faktörlerdendir. Dijital teknolojilerin doğru kullanımı konusunda toplumsal bilgi eksikliği, özellikle dezavantajlı kesimler arasında yaygındır. Türkiye'nin dijitalleşme hedeflerine ulaşması için dijital okuryazarlığın her seviyede artırılması gerekmektedir. Eğitim alanında dijital teknolojilerin kullanımının artırılması ve geniş çaplı dijital eğitim programlarının

oluşturulması, bu alandaki bilgi eksikliğinin giderilmesine katkı sağlayacaktır (Köşker & Gürer, 2020, s.91).

Siber güvenlik açıkları, dijital dönüşüm sürecinin önündeki bir diğer büyük zordur. Dijitalleşme ile birlikte veri güvenliği ve mahremiyet riskleri artmış, bu durum hem bireyler hem de kamu ve özel sektörde önemli bir endişe kaynağı olmuştur. Türkiye, ulusal güvenliğin korunması adına siber güvenlik stratejileri geliştirirken, siber saldırılara karşı savunma kapasitesini artırmak için kapsamlı önlemler almak zorundadır. Siber güvenlik alanında uzman yetiştirilmesi ve yasal düzenlemelerin bu tehditlere karşı hızlı bir şekilde güncellenmesi kritik önemdedir (CBDDO, 2024).

Bunun yanında, veri gizliliği ve yasal düzenlemeler konusundaki eksiklikler de dijitalleşme sürecinde karşılaşılan zorluklardandır. Verilerin korunması ve kişisel bilgilere yönelik ihlallerin önlenmesi konusunda yasal düzenlemeler yeterince hızlı bir şekilde adapte olamamaktadır. Türkiye’de, Avrupa Birliği’nin Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) gibi güçlü veri gizliliği yasalarına benzer düzenlemelerin daha kapsamlı hale getirilmesi ve dijital platformlar üzerindeki kontrolün artırılması gerekmektedir (TÜBİSAD, 2022).

Bürokratik engeller ve kamusal işleyişteki yavaşlık, dijital dönüşüm sürecinin önünde büyük bir bariyer oluşturmaktadır. Kamu kurumlarındaki hantal yapılar, dijitalleşmenin hızına ayak uydurmakta zorlanmakta ve birçok süreç gereksiz yere karmaşık hale gelmektedir. Dijitalleşmenin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için kamu kurumlarının esnek, hızlı ve adaptasyon yeteneği yüksek bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir (Köşker & Gürer, 2020, s.92).

Türkiye’nin dijital dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorluklar, teknolojik, sosyal, ekonomik ve yasal boyutlarda çeşitlilik göstermektedir. Bu zorluklar arasında, dijital altyapının yetersizliği, siber güvenlik tehditleri, dijital okuryazarlık eksikliği ve dijital dönüşüm sürecine uyum sağlama konusunda yaşanan zorluklar yer almaktadır. Bu zorlukların aşılması için, stratejik çözümler üretilmesi ve bu çözümlerin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir (Akmeşe, 2020, s.116).

Teknolojik zorluklar, özellikle dijital altyapının yetersizliği ve teknolojik yeniliklerin yavaş benimsenmesi gibi konularda ortaya çıkmaktadır. Türkiye’nin dijital dönüşüm sürecinde başarılı olabilmesi için, öncelikle bu altyapısal sorunların giderilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yüksek hızlı internet erişiminin yaygınlaştırılması, 5G

teknolojisinin hayata geçirilmesi ve veri merkezlerinin kapasitesinin artırılması gibi çözümler önerilmektedir (Aksoy, 2024, s.26).

Siber güvenlik, dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan en büyük tehditlerden biridir. Türkiye, dijitalleşme sürecinde siber saldırılara karşı savunma mekanizmalarını güçlendirmek zorundadır. Bu kapsamda, siber güvenlik stratejilerinin geliştirilmesi, ulusal siber güvenlik altyapısının güçlendirilmesi ve siber tehditlere karşı etkin bir mücadele için uluslararası işbirliklerinin artırılması önerilmektedir (Ak Bingöl & Türk, 2019, s.83).

Sosyal boyutta, dijital okuryazarlık eksikliği, dijital dönüşüm sürecine uyum sağlama konusunda önemli bir engel teşkil etmektedir. Dijital okuryazarlık düzeyinin artırılması, vatandaşların dijital hizmetlere erişimini kolaylaştıracak ve bu hizmetlerden etkin bir şekilde yararlanmalarını sağlayacaktır. Bu amaçla, eğitim sisteminde dijital okuryazarlık eğitiminin yaygınlaştırılması, bu alanda farkındalığın artırılması ve dijital eğitim programlarının geliştirilmesi önerilmektedir (Fırat & Güney, 2020, s.57).

Ekonomik zorluklar ise, dijital dönüşümün maliyetleri ve bu sürecin finansmanı konularında ortaya çıkmaktadır. Dijital dönüşüm sürecinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, bu sürecin ekonomik boyutunun iyi planlanması ve gerekli finansmanın sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, dijital dönüşüm projelerine yönelik özel sektör yatırımlarının teşvik edilmesi ve bu alandaki girişimlerin desteklenmesi önemli bir çözüm önerisi olarak sunulmaktadır (Sezgin & Karabacak, 2020, s.37).

Kamusal işleyişte bürokratik engeller, dijital dönüşüm projelerinin zamanında, bütçesinde ve hedef nitelikte tamamlanmasını aksatmaktadır. Birden çok kamu kurumu arasında yetki örtüşmeleri, veri paylaşım protokollerinin gecikmesi ve ihale süreçlerinin uzunluğu, elektronik devlet (e-devlet) uygulamalarını yaygınlaştırma hızını düşürmektedir (Köşker ve Gürer, 2020, s. 92). Proje yönetim ofislerinin yetersiz koordinasyonu, büyük ölçekli entegre çözümlerde yeniden iş ve maliyet doğuran sürüm çatallanmasına (fork) yol açmaktadır. Ayrıca, mevzuat güncellemelerinin yürürlüğe girme süresi ile teknolojik inovasyonun çevrim süresi arasındaki hız farkı, “yenilik gecikmesi paradoksu”nu beslemekte; blockchain, yapay zekâ veya açık API tabanlı çözümler regülasyon eksikliğinden ötürü ticarileştirilememektedir (Alyasein vd., 2025, s. 160).

Finansman eksiklikleri, dijital yatırımları ölçeklendirebilir kılacak sermaye tabanını daraltmaktadır. Firmaların dijital dönüşüme ayırdığı bütçe çoğu zaman donanım güncellemeleriyle sınırlı kalmakta; ileri analitik, yapay zekâ ve siber güvenlik alanlarında çok düşük yatırım gerçekleşmektedir (Al Jabri vd., 2024, s. 110). Girişim ekosisteminde risk sermayesi hacmi artmakla birlikte, teknoloji yoğun girişimlerin seri A ve seri B finansman turlarında fon bulma oranı bölge ortalamasının altındadır. Bankacılık sektörü, dijital varlıkları teminat niteliğinde yeterince değerlendirmemekte; bu durum girişimlerin krediye erişimini zorlaştırmaktadır (Abdurrahman, 2025, s. 68). Kamu teşvik programları ise sıklıkla kısa vadeli, hibe odaklı ve sınırlı başvuru pencereleri nedeniyle talebi tam karşılayamamaktadır.

Kurumsal kültür ve değişim yönetimi eksiklikleri, dijital teknolojilerin tam potansiyelle benimsenmesini engellemektedir. Pek çok kamu ve özel sektör kuruluşunda hiyerarşik yapılar karar alma süreçlerini yavaşlatmakta; deneyselliği teşvik eden hata toleransı düşük kalmaktadır (Cao vd., 2023, s. 54). Çapraz iş birimlerinin uyumlu çalışmasını sağlayacak çevik (agile) metodolojiler sınırlı pilot uygulamalarda kalmakta, projelerin ölçeklenebilirliği azalmaktadır. Değişim direnci, orta ve alt kademe yöneticilerin kariyer güvencesi ve rol belirsizliği kaygılarıyla beslenmekte; dijital stratejinin sahiplenilmesi güçleşmektedir (Köşker ve Gürer, 2020, s. 95).

Bu zorlukların aşılması için çok katmanlı, birbirini tamamlayan ve sürdürülebilir bir çözüm seti gerekmektedir. İlk olarak, altyapı açığının kapatılması amacıyla genişbant yatırımlarını kamu-özel iş birliği (PPP) modelleriyle hızlandırmak mümkün görünmektedir. Fiber optik şebeke lisanslamasında ortak tesis kullanımı zorunluluğu getirilmesi, yatırım maliyetinin bölüşülmesini sağlamaktadır (Al Jabri vd., 2024, s. 113). Mobil operatörlerin 5G spektrum ihalesinde kapsama zorunluluklarının bölgesel boyutta detaylandırılması, kırsal altyapıyı teşvik etmektedir. Ayrıca veri merkezi stratejisinde “ikincil lokasyon” modeline dayalı bölgeselleşme, felaket kurtarma yeteneğini yükseltmektedir (Abdurrahman, 2025, s. 70).

Dijital okuryazarlık açığını kapatmak üzere Milli Eğitim Bakanlığı, yükseköğretim kurumları ve özel sektör üçgeninde yaşam boyu öğrenme iş birlikleri tesis edilmelidir. Kodlama, algoritmik düşünme ve siber güvenlik modülleri, erken çocukluk döneminden itibaren müfredata entegre edilmekte; açık öğretim ve uzaktan eğitim platformlarında mikro-sertifika (micro-credential) yapıları yaygınlaştırılmaktadır (Köşker ve Gürer, 2020, s. 97). İş gücü piyasasında mesleki dijital becerilerin tanınması için ulusal

yeterlilik çerçevesinde güncellemeler yapılarak sektör yetkinlik standartları harmonize edilmektedir (Al Jabri vd., 2024, s. 116).

Siber güvenlik ekosisteminin güçlendirilmesi için Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi uygulamaya konulmakta; siber olayları yönetme kapasitesi, güvenlik operasyon merkezlerinin entegrasyonu ve 7/24 faal bilgisayar acil müdahale ekipleriyle artırılmaktadır (Cao vd., 2023, s. 55). Kritik altyapı işletmecilerine zorunlu asgari güvenlik kontrolleri (NIST CSF uyumlu) getirilmektedir; firmalara yönelik siber hijyen destek programları hibrit modelde (finansal teşvik + teknik danışmanlık) uygulanmaktadır (Alyasein vd., 2025, s. 162). Fidyeye yazılım saldırılarına karşı siber sigorta pazarının gelişmesi için sigorta şirketlerine vergi teşviki sağlanmakta; böylece siber risk paylaşımı finansal sektöre entegre edilmektedir.

Bu bakımdan, Türkiye'nin dijital dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorlukların aşılması için kapsamlı ve stratejik çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çözümler, dijital altyapının güçlendirilmesi, siber güvenlik tehditlerine karşı savunma mekanizmalarının geliştirilmesi, dijital okuryazarlık düzeyinin artırılması ve ekonomik zorlukların aşılması gibi çeşitli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde başarılı olabilmek için bu zorlukları aşmak zorundadır ve bu bağlamda atılacak stratejik adımlar, ülkenin dijital ekonomideki rekabet gücünü artıracaktır (Aksoy, 2024, s.29).

3.5.1. Çözüm Önerileri

Türkiye'nin dijital dönüşümde karşılaştığı altyapı sorunları, geniş bant internet erişiminin yaygınlaştırılması ve kırsal alanlarda internet altyapısının güçlendirilmesi ile aşılabacaktır. Devletin ve özel sektörün bu alanda yapacağı yatırımlar artırılmalıdır (TESİD, 2023).

Eğitim müfredatlarına dijital teknolojilerle ilgili dersler eklenmeli ve her yaş grubuna yönelik dijital okuryazarlık eğitimleri düzenlenmelidir. Özellikle yaşlı nüfus ve kırsal kesimlerdeki bireyler için farkındalık artırıcı kampanyalar yapılmalıdır (Köşker & Gürer, 2020, s.93).

Siber güvenlik tehditlerine karşı yerli teknolojiler geliştirilmeli, siber güvenlik uzmanlarının yetiştirilmesi teşvik edilmeli ve kamu-özel sektör iş birliği artırılmalıdır. Ayrıca, güvenlik tehditlerine yönelik yasal düzenlemeler hızla güncellenmelidir (CBDDO, 2024).

Türkiye'nin veri koruma yasaları, küresel standartlara uygun hale getirilmelidir. Özellikle dijital platformlarda kişisel verilerin korunmasına yönelik daha sıkı önlemler alınmalı ve bu alanda cezai yaptırımlar ağırlaştırılmalıdır (TÜBİSAD, 2022).

Kamu kurumlarının dijitalleşmeye daha hızlı adapte olabilmesi için bürokratik engeller azaltılmalı, dijital platformlar üzerinde hizmet süreçleri sadeleştirilmelidir. Kamusal hizmetlerin dijital ortamda sunulması için eğitim ve farkındalık çalışmaları yapılmalıdır (Köşker & Gürer, 2020, s.94).

Türkiye, dijital dönüşüm sürecinde önemli adımlar atmasına rağmen, karşılaşılan altyapı eksiklikleri, dijital okuryazarlık sorunları, siber güvenlik tehditleri, veri gizliliği eksiklikleri ve bürokratik engeller, bu sürecin tam anlamıyla başarılı olmasını engellemektedir. Bu zorlukların aşılması için dijital altyapının güçlendirilmesi, dijital okuryazarlığın artırılması, siber güvenliğin sağlanması ve veri gizliliği konusunda daha sıkı yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Türkiye'nin dijital dönüşüm hedeflerine ulaşması, bu çözüm önerilerinin başarılı bir şekilde uygulanması ile mümkün olacaktır (Köşker & Gürer, 2020, s.95).

BÖLÜM IV

4. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Bu çalışma, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorlukları ve bu zorluklara yönelik çözüm önerilerini ele alarak, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin entegre bir şekilde nasıl yönetilebileceğini incelemektedir. Araştırmanın temel bulguları, Türkiye'nin ikiz dönüşümde önemli adımlar attığını, ancak süreç içerisinde çeşitli yapısal, teknolojik ve politik engellerle karşılaştığını göstermektedir. Aşağıda, her bir araştırma sorusu ve hipotez kapsamında ulaşılan sonuçlar detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

İkiz dönüşüm, dijitalleşme ve yeşil dönüşümün entegre bir şekilde ele alındığı bir süreç olarak tanımlanmıştır. Bu dönüşüm, yalnızca teknolojik ilerlemelerle sınırlı olmayıp, çevresel sürdürülebilirlik, toplumsal eşitlik ve ekonomik kalkınma gibi geniş çaplı hedefleri de kapsamaktadır (Johnston, 2020). Türkiye'nin ikiz dönüşüm stratejileri, dijital altyapının güçlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması yoluyla sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır. Araştırmamız, Türkiye'nin bu süreçte sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik önemli adımlar attığını, ancak daha etkili bir strateji geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Türkiye, dijitalleşme sürecinde e-devlet uygulamalarını yaygınlaştırma, yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojileri kullanma gibi hedefler belirlemiştir. E-devlet uygulamaları, kamu hizmetlerinin daha verimli ve hızlı bir şekilde sunulmasına olanak tanıyarak dijitalleşmenin olumlu etkilerini göstermektedir. Bu stratejiler, dijital eşitsizliklerin azaltılması ve dijital altyapının güçlendirilmesi yoluyla sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmuştur (OECD, 2021). Ancak, bu hedeflerin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için altyapısal eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir.

Yeşil dönüşüm sürecinde Türkiye'nin karşılaştığı başlıca zorluklar arasında yenilenebilir enerji yatırımlarının sınırlı olması, enerji verimliliği programlarının yaygınlaştırılamaması ve sürdürülebilir şehircilik uygulamalarının yetersizliği yer almaktadır (IEA, 2021). Ayrıca, bu dönüşüm sürecinde özel sektörün ve kamu kurumlarının yeterince koordineli olmaması da önemli bir engel olarak tespit edilmiştir.

Bu zorlukların üstesinden gelinmesi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması ile mümkün olacaktır.

E-devlet uygulamaları, dijital dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri olarak, kamu hizmetlerinin etkin ve hızlı bir şekilde sunulmasını sağlamaktadır. Bu uygulamalar, özellikle kırsal kesimde dijital eşitsizlikleri azaltma potansiyeli taşımaktadır. Ancak, dijital okuryazarlık seviyesinin düşük olması ve kırsal bölgelerde altyapı eksiklikleri, bu uygulamaların etkili bir şekilde kullanılmasını zorlaştırmaktadır (World Bank, 2020). E-devlet uygulamalarının tam kapasiteyle çalışabilmesi için, dijital okuryazarlık düzeyinin artırılması ve dijital altyapının iyileştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de 7552 sayılı İklim Kanunu’nun yürürlüğe girmesi, çevre politikalarını gönüllülük temelli beyanlardan koparıp bağlayıcı ve piyasa-temelli bir hukuki rejime dönüştürmektedir; ancak bu dönüşüm, normatif bütünlük ile uygulama gerçekliği arasındaki gerilimi de her adımda görünür kılmaktadır. Kanun’un kurumsal mimarisi, İklim Değişikliği Başkanlığı ve Karbon Piyasası Kurulu aracılığıyla “tek kapı” düzenleyicilik hedeflerken, il koordinasyon kurulları ve Danışma Kurulu yoluyla katılımcılığı artırmayı vaat etmektedir; buna karşın karar süreçlerindeki asimetrik uzmanlık dağılımı, sivil toplumun teknik kapasite eksikliği ve sanayi-merkezli baskı gruplarının üstün örgütlenme düzeyi, yönetim zincirinin kırılğan halkaları olarak belirginleşmektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 26). Aynı zamanda emisyon ticaret sistemi, fiyat istikrar rezervi ve ücretsiz tahsisat tasarımı sayesinde rekabet gücü kaybını yönetmeye çalışırken, indirim faktörlerinin göreceli yavaş sıkılaşması ve cap değerinin mutlak azaltım yerine “artıştan azaltım” metoduna dayanması, Paris Anlaşması’nın 1,5 °C senaryolarıyla uyum konusunda eleştirilere yol açmaktadır (European Commission, 2019, s. 15). Özetle, Kanun kapsamındaki yönetim mekanizmaları “regülasyon mantığı ile kalkınma mantığı” arasında dinamik bir denge aramakta, fakat bu denge çoğu zaman “tedricî sıkılık” lehine kayarak çevresel bütünlüğü ikincil planda bırakmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33).

Finansman ve yaptırım boyutunda, ETS gelirlerinin %50’sinin uyum ve dönüşüm projelerine, %25’inin teknoloji Ar-Ge’sine, %15’inin adil geçiş programlarına ayrılması, “kirleten öder” ilkesini mali yeniden-dağıtım mekanizmasıyla pekiştirmektedir; bununla birlikte gelir tahsilatının ekonomik döngülerle doğrudan korelasyon göstermesi, iklim projelerinin sürdürülebilir finansmanını belirsiz kılmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti, 2025, s. 33). Yaptırımların ton başına 50 TL’lik ceza düzeyi, AB ETS’nin 100

€/tCO₂e'lik caydırıcılık eşiğinin oldukça gerisinde kalarak karbon fiyat sinyalini zayıflatmaktadır (European Parliament & Council, 2023, s. 65). Diğer yandan, sosyal koruma fonu aracılığıyla düşük gelirli hanelere yapılacak doğrudan desteklerin ölçütleri hâlen ikincil mevzuatta tanımlanmamış olup, adil geçiş perspektifinin somutlaşması bu düzenlemelere bağlıdır (Republic of Türkiye, 2024, s. 23). Dolayısıyla Türkiye'nin iklim yönetişimi, kurumsal kapasitenin takvime uygun geliştirilmesi, piyasa denetimi için saydam veri altyapısının güçlendirilmesi ve yaptırım katsayısının çevresel etkinlik gözetilerek kademeli artırılması koşulları sağlanmadıkça, hukuki çerçevenin hedeflediği indirgeme ivmesini yakalamakta zorlanacaktır.

Türkiye'nin yapay zeka ve dijital teknoloji politikaları, dijitalleşme sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Yapay zeka stratejileri, kamu hizmetlerinin iyileştirilmesi, sağlık, ulaşım ve eğitim gibi alanlarda inovasyonların desteklenmesi açısından önemlidir. Yapay zeka, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında enerji tasarrufu, verimlilik ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik çözümler sunmaktadır (UNESCO, 2021). Ancak bu politikaların etkinliğinin artırılması, yapay zeka teknolojilerine yapılan yatırımların artırılması ve bu teknolojilerin geniş çaplı benimsenmesi ile mümkün olacaktır.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için çeşitli politikalar uygulamakta, ancak bu alandaki yatırımların yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Rüzgar, güneş ve hidroelektrik enerji potansiyeli yüksek olmasına rağmen, fosil yakıt kullanımının hala yaygın olması, yeşil dönüşüm sürecinde önemli bir engel teşkil etmektedir. Bu zorlukların aşılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi ve bu alandaki yasal düzenlemelerin güçlendirilmesi ile mümkün olacaktır (IEA, 2021).

Enerji verimliliği programları, Türkiye'nin sürdürülebilir şehircilik ve yeşil dönüşüm politikalarının temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu programlar, enerji tasarrufu sağlayarak çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak, enerji verimliliği programlarının yeterince yaygınlaştırılamaması ve yerel yönetimlerin bu programlara tam anlamıyla entegre olamaması, yeşil dönüşüm hedeflerine ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Yerel yönetimlerin bu süreçte daha aktif bir rol üstlenmesi, enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır (UNDP, 2020).

ABD, AB ve Çin gibi küresel aktörlerin ikiz dönüşüm stratejileri, Türkiye için önemli dersler içermektedir. Özellikle AB'nin Yeşil Mutabakat kapsamında uyguladığı

politikalar, Türkiye'nin yeşil dönüşüm stratejileri açısından rehber niteliğindedir. Ayrıca, Çin'in dijitalleşme ve yeşil enerji yatırımları, Türkiye'nin bu alanda daha fazla yatırım yapması gerektiğini göstermektedir (EU Commission, 2020). Türkiye'nin bu stratejilerden alacağı dersler, uluslararası işbirliklerini artırarak daha etkili bir ikiz dönüşüm stratejisi geliştirmesi yönünde olmalıdır.

Türkiye, ikiz dönüşüm sürecinde politik belirsizlikler, sosyal eşitsizlikler ve ekonomik kısıtlamalar gibi çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Dijitalleşme sürecinde dijital eşitsizlikler, kırsal bölgelerde altyapı eksiklikleri ve dijital okuryazarlık sorunları en önemli engeller arasında yer almaktadır. Yeşil dönüşüm sürecinde ise, yenilenebilir enerji yatırımlarının sınırlı olması ve çevresel politikaların yeterince uygulanamaması öne çıkan zorluklar arasında yer almaktadır (Kaya, 2021). Bu zorlukların üstesinden gelinmesi, etkili politika geliştirme ve stratejik planlama ile mümkün olacaktır.

Tüm bunlar ekseninde, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmesi, etkili stratejik planlama, uluslararası işbirlikleri ve yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi ile mümkün olacaktır. Bu süreçte dijitalleşme ve yeşil dönüşümün entegre bir şekilde yönetilmesi, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında ve küresel rekabet gücünü artırmasında hayati bir rol oynamaktadır.

4.2. Sonuç

İkiz dönüşüm kavramı, modern ekonomilerin ve toplumların sürdürülebilir bir geleceğe yönlendirilmesi adına kritik bir öneme sahiptir. Dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinin bir arada ele alınarak, hem ekonomik büyümeyi desteklemek hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla bu iki sürecin entegre bir şekilde yönetilmesi, ikiz dönüşümün temel hedefini oluşturur. Bu kavram, dijital teknolojilerin sunduğu imkanları, çevresel hedeflerle uyumlu hale getirme zorunluluğunu ortaya koyar. Dolayısıyla, ikiz dönüşüm, yalnızca bir kalkınma modeli değil, aynı zamanda küresel sürdürülebilirlik için zorunlu bir paradigma değişikliği olarak da kabul edilmelidir.

Türkiye, 7552 sayılı İklim Kanunu ile iklim değişikliğiyle mücadelede tarihsel bir eşiği geride bırakmaktadır. Kanun'un bütüncül yapısı, ulusal sera gazı üst sınırının belirlenmesinden emisyon ticaret sisteminin finansal mikro-alt yapısına, yerel eylem planlarından sosyal koruma fonlarına kadar geniş bir ölçeği kapsayarak çevresel,

ekonomik ve toplumsal alanları tek potada eritmektedir. Bu çerçeve, karbon fiyat sinyalinin hukuken bağlayıcı hâle getirirken, aynı zamanda sanayi dönüşümünü hızlandıracak teşvik-yaptırım dengesini kurumsallaştırmaktadır. Böylece Türkiye, 2053 net-sıfır hedefine uzanan yol haritasını yalnızca siyasal taahhütlerle değil, nesnel denetim mekanizmalarına sahip bir mevzuatla desteklemiş olmaktadır.

Bununla birlikte Kanun'un gerçek etkisi, ikincil mevzuatın zamanlı ve şeffaf biçimde çıkarılmasına, kurumlar arası veri paylaşımının güvenilirliğine, fiyat istikrar rezervinin piyasa beklentilerini düzenleyici rolünü etkin kullanmasına ve sosyal adalet bileşenlerinin bütçe sürekliliğine bağlıdır. Kapsam dışı sektörlerin sisteme entegrasyonu, ceza katsayılarının enflasyon endeksli güncellenmesi, yenilikçi finansman araçlarının devreye alınması ve yerel düzeyde kırılgan grupları önceleyen uyum projelerinin hızla hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu koşullar sağlandığı takdirde İklim Kanunu, yalnızca yasal bir metin değil, yeşil kalkınmanın temel taşı niteliğini kazanacaktır.

İkiz dönüşüm, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm süreçlerinin aynı anda gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir ve bu süreç, sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için önemli bir fırsat sunmaktadır. Dijital dönüşüm, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı yoluyla ekonomik ve sosyal sistemlerin yeniden şekillendirilmesi sürecini ifade ederken, yeşil dönüşüm ise ekonomik ve sosyal sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine göre yeniden yapılandırılmasını amaçlamaktadır. Bu iki dönüşüm süreci, birbirini destekleyerek daha verimli, sürdürülebilir ve dayanıklı bir yapı oluşturmayı hedeflemektedir.

Dijital dönüşüm, modern ekonomilerin ve toplumların karşı karşıya olduğu birçok zorluğa yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin geniş çapta benimsenmesi, verimliliği artırmaya, yeni iş fırsatları yaratmaya ve genel yaşam kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilmektedir. Özellikle otomotiv endüstrisi gibi rekabetin yüksek olduğu sektörlerde, dijital dönüşüm süreci büyük önem arz etmekte ve dijital ikiz teknolojisi gibi yenilikçi yaklaşımlar, maliyetleri düşürmede ve operasyonel verimliliği artırmada kilit rol oynamaktadır.

Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın dijital bir kopyasının oluşturulması ve bu kopyanın gerçek zamanlı verilerle güncellenmesi sürecidir. Bu teknoloji, üretim süreçlerinin optimizasyonundan bakım ve onarım süreçlerinin öngörülebilirliğine kadar birçok alanda kullanılmakta olup, işletmelere önemli maliyet avantajları sağlamaktadır.

Tedarik zincirlerinde de dijital ikiz teknolojisinin kullanımı, süreçlerin daha verimli yönetilmesine olanak tanımakta ve lojistik süreçlerde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Bu bağlamda, dijital ikiz teknolojisinin yaygınlaşması, dijital dönüşüm sürecinin önemli bir bileşeni olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öte yandan, yeşil dönüşüm, çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine dayanan bir dönüşüm süreci olup, iklim değişikliğiyle mücadele, çevre kirliliğini azaltma ve doğal kaynakları koruma hedeflerini içermektedir. Bu süreç, ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlamakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin benimsenmesi gibi uygulamalarla desteklenmektedir. Yeşil dönüşüm, sadece çevresel etkilerin azaltılmasıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sosyal sürdürülebilirliği de desteklemekte, toplumsal eşitsizliklerin azaltılmasına ve daha adil bir ekonomik düzenin kurulmasına katkıda bulunmaktadır.

Dünyada ikiz dönüşüm süreci, farklı ülkelerde farklı hız ve stratejilerle uygulanmaktadır. Avrupa Birliği, bu konuda öncü bir rol üstlenmiş olup, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerini bir arada yürüterek, küresel iklim değişikliği ile mücadelede etkin bir yol haritası sunmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı, karbon nötr olma hedefiyle, enerji, ulaşım, tarım gibi sektörlerde köklü değişiklikler öngörmekte ve bu değişiklikleri dijital teknolojilerle desteklemektedir. AB'nin bu süreçteki stratejisi, dijital teknolojilerin sunduğu fırsatları, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirerek, rekabetçi bir yeşil ekonomi inşa etmeye yöneliktir. Bu strateji, aynı zamanda, küresel ekonomik sistemin dönüşümünde önemli bir model olarak kabul edilmektedir.

Asya-Pasifik bölgesinde, özellikle Çin, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinde büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Çin, dijital inovasyon ve yeşil kalkınma politikalarını birbirine entegre ederek, hem ekonomik büyümeyi sürdürülebilir kılmayı hem de çevresel etkileri minimize etmeyi hedeflemektedir. Çin'in bu stratejisi, dijital teknolojilerin geniş kapsamlı uygulamalarını içermekte ve bu teknolojilerin, enerji verimliliği, su kaynaklarının yönetimi, atık yönetimi gibi alanlarda kullanılmasını teşvik etmektedir. Çin, dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçlerinde elde ettiği başarılarla, küresel ekonomide önemli bir aktör olarak öne çıkmakta ve bu süreçleri, ekonomik rekabet gücünü artırmanın bir aracı olarak kullanmaktadır.

Türkiye açısından bakıldığında, ikiz dönüşüm süreci, ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında hayati bir rol oynamaktadır. Türkiye, dijital dönüşüm alanında önemli adımlar atarak, kamu hizmetlerinde dijitalleşme ve e-devlet uygulamalarını yaygınlaştırmıştır. Bu süreçte, Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi gibi inisiyatiflerle dijital teknolojilerin daha geniş alanlarda kullanılmasını teşvik eden politikalar geliştirilmiştir. Türkiye'nin dijital dönüşüm stratejisi, ekonomik büyümenin desteklenmesi, kamu hizmetlerinin etkinleştirilmesi ve toplumsal yaşamın kolaylaştırılması hedefleri etrafında şekillenmiştir. Özellikle yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu, Türkiye'nin rekabetçi bir dijital ekonomi oluşturma hedefi doğrultusunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Yeşil dönüşüm açısından ise Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarına yaptığı yatırımlarla öne çıkmaktadır. Türkiye, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak, enerji bağımsızlığını sağlama ve karbon salınımını azaltma hedeflerini benimsemiştir. Enerji verimliliği programları ve çevre dostu enerji projeleri, Türkiye'nin yeşil dönüşüm stratejisinin merkezinde yer almakta ve bu stratejiler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin bu alandaki çabaları, küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir katkı sağlamakta ve aynı zamanda ülkenin enerji güvenliğini artırmaktadır.

İkiz dönüşüm sürecinde Türkiye'nin karşılaştığı zorluklar, bu süreçlerin başarısı için stratejik çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye, dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm süreçlerini birbirine entegre ederek, bu zorlukları aşmada önemli adımlar atmıştır. Ancak, bu süreçlerin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesi için daha kapsamlı politikaların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Özellikle, dijital teknolojilerin çevresel hedeflerle uyumlu bir şekilde kullanılması, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında belirleyici olacaktır.

Bu bakımdan, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde elde edeceği başarı, yalnızca ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda küresel rekabet gücünün artırılması açısından da büyük bir öneme sahiptir. Türkiye, bu süreçte uluslararası işbirliklerini güçlendirerek, küresel ikiz dönüşüm stratejileri ile uyumlu politikalar geliştirmeli ve bu politikaları etkin bir şekilde uygulamalıdır. Ayrıca, ikiz dönüşüm sürecinde toplumsal farkındalığın artırılması, eğitim sisteminin bu yeni dinamiklere uyum sağlaması ve işgücünün dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerine

hazırlanması, uzun vadede sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında belirleyici olacaktır.

Bu bağlamda, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde attığı adımlar, sadece ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ulusal ve uluslararası düzeyde rekabet gücünü artırmak için de büyük bir öneme sahiptir. Bu süreçte karşılaşılan zorlukların aşılabilmesi, dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerinin birbirini destekleyecek şekilde uyumlu bir strateji çerçevesinde ele alınması ile mümkün olacaktır. Türkiye'nin bu dönüşüm sürecinde elde edeceği başarı, sadece kendi kalkınma hedefleri açısından değil, aynı zamanda küresel iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir bir dünya inşasında da önemli bir rol oynayacaktır.

İkiz dönüşüm süreci, aynı zamanda Türkiye'nin kalkınma hedefleri ve küresel iklim değişikliği ile mücadele çabaları açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreç, ekonomik büyüme, enerji güvenliği, dijitalleşme, yeşil dönüşüm ve sürdürülebilir kalkınma gibi temel alanlarda Türkiye'nin ulusal ve uluslararası rekabet gücünü artırmasını sağlayacaktır. Türkiye'nin ikiz dönüşüm stratejileri, bu hedeflere ulaşmada önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

4.3. Öneriler

Araştırmamızın sonucunda, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde karşılaştığı zorlukları aşması için şu stratejik öneriler geliştirilebilir:

- Dijitalleşme sürecinde altyapı yatırımlarının artırılması, dijital okuryazarlık düzeyinin yükseltilmesi ve dijital eşitsizliklerin giderilmesine yönelik politikalar geliştirilmelidir.
- Yeşil dönüşüm sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar teşvik edilmeli ve enerji verimliliği programlarının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.
- Uluslararası işbirlikleri artırılarak, küresel aktörlerin ikiz dönüşüm stratejilerinden öğrenilen dersler doğrultusunda daha etkin politikalar geliştirilmelidir.
- Yerel yönetimlerin enerji verimliliği ve sürdürülebilir şehircilik programlarına daha fazla entegre olması sağlanmalı, yerel düzeyde farkındalık artırılmalıdır.
- Yapay zeka ve dijital teknoloji yatırımları teşvik edilerek, bu teknolojilerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yönelik katkıları artırılmalıdır.

Türkiye'nin ulusal ve uluslararası vitrin niteliğindeki teknoloji festival ve yarışma platformu TEKNOFEST, İklim Kanunu'nun somut hedefleri doğrultusunda özel bir "Karbon-Nötr Endüstri Yarışması" başlığı altında yeniden yapılandırılmalıdır. Festival kapsamında üniversite takımları, start-up'lar ve kamu-özel Ar-Ge konsorsiyumları karbon yakalama, yeşil hidrojen, akıllı şebeke yönetimi ve iklim-dayanıklı tarım teknolojileri alanlarında projeler geliştirmeye teşvik edilmelidir; kazanan ekiplerin prototip finansmanı ETS gelirlerinden sağlanmalıdır. Böyle bir program, yenilik ekosisteminin dinamik kapasitesini ulusal iklim hedefleriyle senkronize edecek, teknoloji vitrini işleviyle uluslararası yatırımcı ilgisini ülkeye çekecek, sonuçta hem sanayide karbonsuzlaşma hızlanacak hem de genç mühendislerin yeşil becerileri gelişecektir. Ayrıca TEKNOFEST'te düzenlenecek "Karbon Piyasası Simülasyonu" oturumlarıyla lise ve üniversite öğrencilerine ETS mantığı uygulamalı olarak anlatılmalıdır; böylelikle kamusal farkındalık yeni kuşakların iklim okuryazarlığına entegre olacaktır.

İkinci olarak, İklim Kanunu'nun uyum ve sosyal koruma bileşenleri "Yeşil Dönüşüm İklim Fonu" çatısı altında konsolide edilmelidir. Fon, ETS gelirlerinin yanı sıra uluslararası iklim finansmanı kaynakları ve gönüllü karbon piyasasından sağlanacak offset paylarıyla büyütülmelidir. Kırsal altyapı yenilemeleri, kentsel ısı adası azaltım projeleri ve afet-dirençli konut yatırımları bu fondan düşük faizli kredi ve geri ödemesiz hibe şeklinde desteklenmelidir. Yönetim modeli, Başkanlık koordinasyonunda bağımsız denetim ve performans göstergelerine dayalı olacaktır; projelerin seçiminde çevresel ilave değer, istihdam yaratma potansiyeli ve toplumsal kırılganlık azaltımı ölçütleri esas alınmalıdır. Böylece Fon, yerel yönetimlerin iklim adaptasyonu kapasitesini artıracak, karbon fiyatlandırmasının regressive etkilerini dengeleyecek, uluslararası iklim finansmanı akışlarını şeffaf ve hesap verebilir bir çerçevede Türkiye ekonomisine kazandıracaktır.

KAYNAKÇA

- Acar, D. (2024). Dijitalleşme ve kurumsal dijital sorumluluk kavramı: Güncel örneklerle yönelik bir inceleme. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 497-529. <https://doi.org/10.15182/diclesosbed.1386297>
- Ada, C., & Meder, M. (2022). Benlik sunumunun dijitalleşmesi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (51), 403-411. <https://doi.org/10.30794/pausbed.992546>
- AFAD. (2024). *Dayanıklı Şehirler Programı 2024–2028*. Ankara: AFAD Yayınları.
- Ak Bingöl, B., & Türk, A. (2019). Türkiye’de yeşil bankacılık. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11(20), 81-92. <https://doi.org/10.14784/marufacd.599191>
- Akdağ, H., & Şiraz, F. (2021). Dijital vatandaşlığa dönüşüm (Türkiye özelinde): Literatür taraması. *TÜRKAV Kamu Yönetimi Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 77-97.
- Akdeniz, M. G., & Akdeniz, E. C. (2024). Okul öncesi eğitim kurumlarında dijital dönüşüm. *Turkish Academic Studies - TURAS*, 5(1), 166-184.
- Akmeşe: (2020). Kamuda dijital dönüşümün siber güvenlik ve dijital güvence boyutları ve iç denetimin rolü. *Denetim*, (20), 108-119.
- Aksoy, C. (2024). İşletmelerin dijital dönüşümü ve dijital liderlik yaklaşımı. *Kalite ve Strateji Yönetimi Dergisi*, 4(1), 1-29.
- Alfaraz, C., & Tully, C. (2024). Mobilizing social transformation with technology. The shaping of social processes since the development of industrial society and beyond: innovation input and social processes. *Innovation-The European Journal of Social Science Research*, Early Access.
- Alimova, D. R., Zaloilo, M. V., & Pashentsev, D. A. (2020). Historical stages in the development of domestic lawmaking: from imperial traditions to digital innovations. *Voprosy Istorii*, (11), 118-124.
- Alizada, N. (2022). Yeşil enerji bağlamında Karabağ’ın enerji potansiyeli. *Avrasya İncelemeleri Dergisi*, 11(1), 1-15.
- Alptekin, G., & Türkmen, D. (2023). Dijital ikiz üzerine yapılan araştırmaların dergi yayınlarındaki eğilimlerinin görselleştirilmesi. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 1-30. <https://doi.org/10.51948/auad.1309385>
- Artun, E. S. (2024). Karbon vergisinin Türkiye’de yenilenebilir enerjiye yönlendirme aracı olarak kullanılması. *Yaşar Hukuk Dergisi*, 6(1), 15-48.
- Avcil, C. (2021). Kamusal alanı dijitalleşme çerçevesinde yeniden okumak. *Liberal Düşünce Dergisi*, 26(103), 81-100. <https://doi.org/10.36484/liberal.954382>
- Avşar, İ. İ. (2021). Sayısal ikiz ve tedarik zinciri. *EUropean Journal of Managerial Research (EUJMR)*, 5(9), 228-244.
- Aygül, H. H., & Yıldız, D. (2018). Kentsel katı atık yönetimi kapsamında “Çevreci Komşu Kart uygulaması”. *Akdeniz İnsani Bilimler Dergisi*, 8(2), 79-100.
- Balbay, Ş., Sarıhan, A., & Avşar, E. (2021). Dünyada ve Türkiye’de “Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik” yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 557-569. <https://doi.org/10.31590/ejosat.971172>
- BDDK. (2022). *Sürdürülebilir Finans Taksonomisi Yönetmeliği*. Ankara: Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu.
- Bem Yacoub: (2023). Yeşil İslami finans ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8(3), 11-26.

- Bengü, H., & Fidancan, C. (2021). Maliyet düşürme yöntemi olarak dijital ikiz ve otomotiv endüstrisindeki yeri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 205-221.
- Birleşmiş Milletler. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: UN.
- Bozkurt, Y. (2016). Yeni toplumsal hareketler çerçevesinde çevreci hareket ve Gezi Parkı olayları. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(2), 276-293.
- Brusaporci, , & Maiezza, P. (2021). Smart Architectural and Urban Heritage: An Applied Reflection. *Heritage*, 4(3), 2044-2053.
- Chen: , Yang, Y., & Wu, T. T. (2023). Research on the impact of digital transformation on green development of manufacturing enterprises. *Frontiers in Energy Research*, 10, 1-12.
- Cumhurbaşkanlığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2024). *Sıfır Atık Nedir?* <https://sifiratik.gov.tr/sifir-atik/sifir-atik-nedir>
- Cumhurbaşkanlığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2024). *Sıfır Atık Mavi*. <https://mavi.sifiratik.gov.tr/>
- Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi (CBDDO). (2024). *Dijital Devlet Stratejisi*. <https://cbddo.gov.tr/dijital-devlet-stratejisi/>
- Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi (CBDDO). (2024). *Dijital Türkiye*. <https://cbddo.gov.tr/dijital-tr/v2>
- Cumhurbaşkanlığı. (2021). *2053 Net-Sıfır Hedefi Basın Açıklaması*. Ankara.
- Çalış Duman, M. (2022). İşletmeler için yeni bir verimlilik teknolojisi: Dijital ikiz. *Verimlilik Dergisi*, 2022, 189-206.
- Çark, Ö. (2020). Dijital dönüşümün işgücü ve meslekler üzerindeki etkileri. *International Journal of Entrepreneurship and Management Inquiries*, 4(Özel Sayı 1), 19-34.
- Çelik, Ö., Haşçalık, Ş., Karaaslan, M., & Mızrak, B. (2003). Kaybolan ikiz. *Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi*, 10(1).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025, 2 Temmuz). *Türkiye'nin ilk İklim Kanunu TBMM'de kabul edildi* [Basın bülteni]. <https://csb.gov.tr/turkiyenin-ilk-iklim-kanunu-tbmm-de-kabul-edildi-bakanlik-faaliyetleri-41712>
- ÇŞİDB. (2023). *Ulusal İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi (Rev. ed.)*. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- ÇŞİDB. (2024). *Türkiye Uzun Dönemli İklim Stratejisi (UNFCCC Sunumu)*. Ankara.
- De la Selva, A. R. A. (2020). Scenarios and Challenges of Digital Citizenship in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Politicas y Sociales*, 65(238), 81-105.
- Demirhan, H. (2020). Dijital hizmet vergisinin dünyadaki uygulamaları ve Türkiye ile karşılaştırmalı analizi. *The Journal of Social Science*, 4(7), 73-86. <https://doi.org/10.30520/tjsosci.665390>
- Doğan, M. (2022). Ekonomik, sosyal ve çevresel dönüşümde yeşil ekonominin rolü. *Uluslararası Sosyal Siyasal ve Mali Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 49-73.
- Duran, M. S., & Bozkaya, Ş. (2024). Sürdürülebilir büyüme için döngüsel ekonominin teşvik edici rolü: AB 27'den ampirik kanıtlar. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 20(2), 221-236. <https://doi.org/10.17130/ijmeb.1415091>
- Ensari Alpay, E., & Karahan Gökmen, M. (2023). Sınırdaki karbon düzenleme (SKD) mekanizması çerçevesinde karbon salınımı açıklamalarının incelenmesi. *Ömer*

- Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(4), 970-986.
<https://doi.org/10.25287/ohuibf.1288775>
- Erturan, İ., & Ergin, E. (2018). Dijital denetim ve dijital ikiz yöntemi. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 20(4), 810-830.
- European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). Brüksel.
- European Commission. (2019, 11 Aralık). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final).
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- European Commission. (2019, 11 Aralık). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final).
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- European Investment Bank. (2023). *Digitalisation in Europe 2022-2023: Evidence from the EIB Investment Survey*. European Investment Bank.
- European Investment Bank. (2024). *The impact of the digital and green transitions on investment inefficiency* (EIB Economics Working Paper 2024/04). European Investment Bank.
- European Parliament & Council of the European Union. (2023, 10 Mayıs). *Regulation (EU) 2023/956 establishing a carbon border adjustment mechanism*. Official Journal of the European Union, L 130, 52–110. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>
- European Steel Association. (2024). *Digital twin in steel: Performance and prospects 2024*. Eurofer. <https://www.eurofer.eu/publications/reports/digital-twin-in-steel-2024>
- European Steel Association. (2024). *Digital twin in steel: Performance and prospects 2024*. Eurofer.
- Falikman, M. V. (2020). Digital mediation: The cutting edge of the cultural historical approach. *Voprosy Psikhologii*, (2), 3-+.
- Fang, X. B., & Liu, M. T. (2024). How does the digital transformation drive digital technology innovation of enterprises? Evidence from enterprise's digital patents. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 1-15.
- Fırat, M., & Güney, Y. (2020). Açıköğretim'in toplumda dijital dönüşüm işlevi. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 53-62.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2024). *The global e-waste monitor 2024: Quantities, flows and circular economy potential*. United Nations University / United Nations Institute for Training and Research. <https://ewastemonitor.info>
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2024). *The global e-waste monitor 2024: Quantities, flows and circular-economy potential*. United Nations University – SCYCLE.
- Göçen: (2020). Açık ve uzaktan öğrenmede dijital ikiz teknolojisinin kullanımına ilişkin bir değerlendirme. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(4), 155-173.
- Göksel, N., & Yanmaz, K. (2011). Modası geçmiş giysilerin yeniden kullanımına yönelik bir araştırma. *Akdeniz Sanat*, 4(8), 0-0.
- HMB. (2024). *Yeşil Finansman Raporu*. Ankara: T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı.
- Holopainen, M., Saunila, M., & Ukko, J. (2024). Digital twins' implications for innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*, 36(8), 1779-1791.
- Hou: Y., Song, L. R., & He, J. J. (2023). Greening the digital revolution: Assessing the impact of digital transformation on green total factor productivity in Chinese enterprises. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(45), 101585-101598.

- ICAP – International Carbon Action Partnership. (2024). *Allowance price explorer: EU ETS historical prices* [Veri seti].
- International Energy Agency. (2023). *CO₂ emissions by sector 2023*. IEA. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-by-sector-2023>
- International Energy Agency. (2023). *CO₂ emissions by sector 2023*. IEA.
- International Energy Agency. (2024). *Data centres and data transmission networks: Tracking report 2024*. IEA. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks-2024>
- International Energy Agency. (2024). *Data centres and data transmission networks: Tracking report 2024*. IEA.
- International Monetary Fund. (2024). *Climate finance tracker 2024*. IMF. <https://www.imf.org/en/Publications/Climate-Finance-Tracker>
- International Monetary Fund. (2024). *Climate finance tracker 2024*. IMF.
- International Renewable Energy Agency. (2023). *Renewables in datacentres: Technical brief*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2023/renewables-in-datacentres>
- International Renewable Energy Agency. (2023). *Renewables in datacentres: Technical brief*. IRENA.
- International Telecommunication Union. (2023). *Measuring digital development: Facts and figures 2023*. ITU. <https://www.itu.int/itu-d/reports/facts-figures-2023>
- International Telecommunication Union. (2023). *Measuring digital development: Facts and figures 2023*. ITU.
- Ivanova, N., Nazarko: , & Kononenko: (2023). Business strategy transformation: The impact of global digitalization and COVID-19 pandemic factors. *Revista de la Universidad del Zulia*, 14(40), 486-505.
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2024). *Türkiye'deki sera gazı emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması* [Sunum]. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- İmer-Ertunga, E., & Seyhun, Ö. K. (2022). Sınırdaki karbon düzenleme mekanizması ve Türkiye'nin ihracatına olası etkileri. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 13(1), 1-13. <https://doi.org/10.18354/esam.1119230>
- İpekçi, C. A., & Köse, N. N. (2021). Döngüsel ekonomi bağlamında gazbetonun sürdürülebilirliği. *Kent Akademisi*, 14(4), 1007-1021. <https://doi.org/10.35674/kent.936338>
- İstanbul Kalkınma Ajansı. (2024). *İkiz dönüşüm mali destek programı rehber dokümanı*. İSTKA.
- Karcıoğlu, R., & Binici, F. Ö. (2021). Dijital dönüşümün muhasebe meslek mensupları üzerine etkisi. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 226-241.
- Kaya, E., Demir, M., & Çolak, S. (2025). Organize sanayi bölgelerinde ikiz dönüşüm uygulamaları ve sürdürülebilir rekabet. *Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirlik Dergisi*, 3(1), 45-60.
- Kır, Ş. (2020). Dijital dönüşüm sürecinde yükseköğretim kurumları ve öğretim elemanlarının gelişen rolleri. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 143-163.
- Komninos, N. (2016). Smart environments and smart growth: connecting innovation strategies and digital growth strategies. *International Journal of Knowledge-Based Development*, 7(3), 240-263.

- Kostädt, P. (2022). IT Organization in Universities and Their Libraries. *Bibliothek Forschung und Praxis*, 46(2), 294-300.
- Kowalski, , La Placa, , & Pettineo, A. (2023). From archives sources to virtual 3D reconstruction of military heritage - the case study of Port Battery, Gdansk. *29th CIPA Symposium on Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage*, 885-893.
- Köşker, Z., & Güner, A. (2020). Sürdürülebilirlik çerçevesinde yeşil örgüt kültürü. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 6(1), 88-109.
- Krotz, F. (2017). Explaining the mediatization approach. *Javnost-The Public*, 24(2), 103-118.
- Kuçuradi, İ. (2021). Dijitalleşme, insan haysiyeti, bilgi ve etik. *TRT Akademi*, 6(12), 564-569. <https://doi.org/10.37679/trta.945246>
- Kuloğlu, E., & Öncel, M. (2015). Yeşil finans uygulaması ve Türkiye’de uygulanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 2-19.
- Kuyucu, M. (2021). Geleneksel televizyon mecrasının yaşadığı dijital dönüşüm ve bunun mecraaya olan etkileri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 8(3), 272-291.
- Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (1998). United Nations. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Li, H. Y., Liu, Q., & Ye, H. Z. (2023). Digital development influencing mechanism on green innovation performance: A perspective of green innovation network. *IEEE Access*, 11, 22490-22504.
- Li, L., & Lin, J. B. (2024). Digital transformation for the sustainable development of firms: The role of green capability and green culture. *Sustainable Development*, 32(3), 1861-1875.
- Li, R., Rao, J., & Wan, L. Y. (2022). The digital economy, enterprise digital transformation, and enterprise innovation. *Managerial and Decision Economics*, 43(7), 2875-2886.
- Li, Y. R., Sun, G. L., Cheng, C. M., & Wang, X. (2023). Digital financial inclusion, financial efficiency, and green innovation. *Sustainability*, 15(3), Article 12.
- Li: B., & Wang, Q. (2023). Green finance policy and digital transformation of heavily polluting firms: Evidence from China. *Finance Research Letters*, 55, 1-12.
- Liao, F. M., Hu, Y. Y., Xu: L. (2024). Digital transformation and corporate green supply chain efficiency: Evidence from China. *Economic Analysis and Policy*, 81, 195-207.
- Liu, J., Wang, Q. B., & Wei, C. Y. (2024). Unleashing green innovation in enterprises: The transformative power of digital technology application, green human resource, and digital innovation networks. *Systems*, 12(1), Article 14.
- Liu, X., Liu, F. Z., & Ren, X. Y. (2023). Firms’ digitalization in manufacturing and the structure and direction of green innovation. *Journal of Environmental Management*, 335, 1-15.
- Liu, Y. T., & Song, P. Y. (2023). Digital transformation and green innovation of energy enterprises. *Sustainability*, 15(9), 1-15.
- Lund, J., & Ebbesson, E. (2019). Understanding digital innovation from a layered architectural perspective. *Technology Innovation Management Review*, 9(2), 51-63.
- Mou, Y. H. (2024). The impact of digital finance on technological innovation across enterprise life cycles in China. *Heliyon*, 10(14), 1-14.
- Mun: , Taner, C. E., Öztekin, M., & Çelimli, F. H. (2005). İkiz eşinin intrauterin ölümü. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 19(1), 31-35.
- OECD. (2023). *How the green and digital transitions are reshaping the automotive ecosystem* (STI Policy Papers No. 2023/03). OECD Publishing.

- Öymen, G., & Kocabay-Şener, N. (2024). Döngüsel ekonominin moda sektöründeki rolü. *İletişim Çalışmaları Dergisi*, 10(2), 116-137.
- Özçelik Baloğlu, Ö. (2023). Teknolojik bir dönüşüm olarak dijitalleşme kavramı ve etkileri. *Nevehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 13(2), 1189-1210. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1276723>
- Özen, A., & Gürel, F. N. (2020). Kamu denetiminde dijital dönüşüm: Dijital ikiz yöntemi. *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 16-23.
- Özguven Tayfun, N., & Ölçü, B. (2016). Çevreci ürünlerin tüketicilerin satın alma kararlarındaki yeri üzerine bir uygulama. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3), 185-198.
- Özsalman, E., & Derindağ, Ö. F. (2023). Modern tarife dışı engel olarak sınırda karbon düzenleme mekanizması. *Gümrük ve Ticaret Dergisi*, 10(31), 31-42.
- Paris Agreement. (2015). United Nations. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- Pfeiffer: (2021). The Greater Transformation: Digitalization and the transformative power of distributive forces in digital capitalism. *International Critical Thought*, 11(4), 535-552.
- Ran, Q. Y., Yang, X. D., & Cao, J. H. (2023). Natural resource consumption and industrial green transformation: Does the digital economy matter? *Resources Policy*, 81, 99-122.
- Republic of Türkiye, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. (2024). *Türkiye Long-Term Climate Strategy* (Submission to the UNFCCC). https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Turkiye_Long_Term_Climate_Strategy.pdf
- Rupeika-Apoga, R., Petrovska, K., & Bule, L. (2022). The effect of digital orientation and digital capability on digital transformation of SMEs during the COVID-19 pandemic. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 17(2), 669-685.
- Sağtaş: (2021). Endüstri 4.0'ın dijital pazarlamaya etkileri. *Tarsus Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 51-66.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2020). *2020-2024 Stratejik Planı*. <http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/fmdJw+SANAYI VE TEKNOLOJ I BAKANLIGI 2020-2024 STRATEJIK PLANI-YENILEME.pdf>
- Sapmaz Veral, E. (2019). Öngüsel ekonomiye geçiş doğrultusunda yeni tedbirler ve AB üye ülkelerinin stratejileri. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 17(2), 463-488. <https://doi.org/10.32450/aacd.511998>
- Sapmaz Veral, E. (2021). Döngüsel ekonomi: Engeller, stratejiler ve iş modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 8(1), 7-18.
- Satır Reyhan, A., & Duygu, E. (2015). Çevre politikalarında yeni bir yaklaşım: Yeşil işler ve yeşil istihdam. *Memleket Siyaset Yönetim*, 10(23), 21-39.
- Saydan, R., & Kanıbir, H. (2007). Üniversiteli tüketicilerin 'çevreci tüketim' tutumları ve satın alma davranışlarına etkileri. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(2), 213-242.
- Sezgin, A. A., & Karabacak, Z. İ. (2020). Yükseköğretimde dijital dönüşüm ve dijital okuryazarlık dersine yönelik betimsel bir analiz. *Kurgu*, 28(1), 17-30.
- Si, H. C., Tian, Z., Zhang, J. (2023). The driving effect of digital economy on green transformation of manufacturing. *Energy & Environment*, 1-12.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)*. Ankara.

- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). *Türkiye Yeşil Sanayi Eylem Planı 2022-2030*. Ankara.
- T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB). (2022). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On Birinci Kalkınma Planı-2019-2023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On-Birinci-Kalkinma-Plani-2019-2023.pdf)
- T.C. Ticaret Bakanlığı. (2021). *Avrupa Yeşil Mutabakatı Eylem Planı*. Ankara.
- Tang, H. J., Yao, Q., & Xie, Y. (2023). Distributed innovation, digital entrepreneurial opportunity, IT-enabled capabilities, and enterprises' digital innovation performance: A moderated mediating model. *European Journal of Innovation Management*, 26(4), 1106-1128.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *Ulusal İklim Dostu Tarım Stratejisi*. Ankara.
- TESİD. (2023). *Dijital Dönüşüm Nedir? Türkiye'de Dijital Dönüşüm Süreci*. <https://tesid.org.tr/4100-2>
- Tian, H. Q., & Shi, T. (2024). Corporate digital transformation and supply chain synergy effects. *Finance Research Letters*, 62.
- TÜBİSAD – Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği. (2022). *Dijital dönüşüm endeksi 2022 raporu*.
- TÜBİSAD. (2022). *Dijital Dönüşüm Endeksi 2022 Raporu*. <https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/DDE-2022-Raporu-Final.pdf>
- TÜBİSAD. (2022). *Dijital Dönüşüm Endeksi 2022 Raporu*. <https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/DDE-2022-Raporu-Final.pdf>
- TÜBİSAD. (2022). *Dijital dönüşüm endeksi 2022 raporu*. Türkiye Bilişim Sanayicileri Derneği. <https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/DDE-2022-Raporu-Final.pdf>
- TÜİK – Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990-2022 [Veri seti]*
- Türk, B. (2023). Dijital ikiz teknolojisi ve dijital girişimciler: Sürdürülebilir bir geleceğe doğru dijital dönüşümün izinde. *EUropean Journal of Managerial Research (EUJMR)*, 7(13), 86-100.
- Türk, M. (2024). Yeşil teknoloji. *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 33(1), 33-48.
- Türkiye Cumhuriyeti. (2025). *7552 sayılı İklim Kanunu*. Resmî Gazete, 32951.
- Türkiye Cumhuriyeti. (2025, 9 Temmuz). *7552 sayılı İklim Kanunu*. Resmî Gazete, 32951. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/07/20250709-1.htm>
- Udovenko, I. P. (2023). Social Policy and Public Administration Ecosystems. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya*, 67(9), 129-138.
- UNCTAD. (2023). *Technology and innovation report 2023: Opening green windows – Technological opportunities for a low-carbon world* (Chap. IV). United Nations Conference on Trade and Development.
- UNFCCC. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Bonn: UNFCCC Secretariat.
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. Bonn: UNFCCC Secretariat.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (1992). United Nations. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- Uysal, D., & Topallı, N. (2014). İkiz açık hipotezi: Türkiye. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 10(1-2), 201-214.

- Uysal, K. (2023). Digital labour platforms and neoliberal governmentality: The case of platform workers in Turkey. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 43(1/2), 142-155.
- Ünal, A. K., & Toraman, A. (2023). Dijital ikiz teknolojisinin değerlendirilmesi. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 5(1), 1-25.
- Ünal, A. K., & Toraman, A. (2023). Evaluation of digital twin technology. *SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi*, 5(1), 1-25.
- Veugelers, R., Faivre, C., Rückert, D., & Weiss, C. T. (2023). The green and digital twin transition: EU vs US firms. *Intereconomics*, 58(1), 56-62.
- Wang, C. Y., Guo, J. T., Qin: Y. (2024). The impact of digital transformation on corporate green governance under carbon peaking and neutrality goals: Evidence from China. *PLOS ONE*, 19(6), 1-14.
- Wang, H. (2021). Digital media information sharing platform in Internet Era. *2021 International Conference on Neural Networks, Information and Communication Engineering*, 11933.
- Wang, J. B., Nie, Y. F., & Liu, H. (2024). Digital orientation and innovation outputs in collaboration networks: Inside the black box. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 732-750.
- Wang, X. Y., & Zhong, X. F. (2024). Digital transformation and green innovation: firm-level evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1-20.
- Wang, Z., Tang, P. (2024). Substantive digital innovation or symbolic digital innovation: Which type of digital innovation is more conducive to corporate ESG performance? *International Review of Economics & Finance*, 93, 1212-1228.
- Wang: H., Song, Y. F., & Zhang, W. (2024). A study on the impact of digital transformation on green resilience in China. *Sustainability*, 16(5), 1-15.
- Wu, Y. B., Shi, F. A., & Wang, Y. Y. (2024). Driving impact of digital transformation on total factor productivity of corporations: The mediating effect of green technology innovation. *Emerging Markets Finance and Trade*, 60(5), 950-966.
- Xu, C., Sun, G. L., & Kong, T. (2024). The impact of digital transformation on enterprise green innovation. *International Review of Economics & Finance*, 90, 1-12.
- Xu, J. N., & Li, W. D. (2023). Study on the impact of digital economy on innovation output based on dynamic panel data model. *European Journal of Innovation Management*.
- Yalçın, Ö. (2023). Döngüsel ekonomi: Web of Science'daki yayınların bibliyometrik bir analizi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (51), 82-91. <https://doi.org/10.52642/susbed.1276059>
- Yáñez Serrano, P., Kovacic, Z., García Casañas, C., Argüelles, L., Ribera-Fumaz, R., & March, H. (2024). The twin green and digital transition: High-level policy or science fiction? *EPE: Nature and Space*, 7(2), 1-28. <https://doi.org/10.1177/25148486241258046>
- Yardımlı: (2021). Çevreci yaklaşımlarda malzeme ve yapım tekniği; Çağdaş kerpiç yapılar. *Kent Akademisi*, 14(2), 389-413. <https://doi.org/10.35674/kent.901861>
- Yasin Yiğit, A., & Uysal, M. (2023). Dijital ikiz oluşturmada nokta bulutlarına dayalı analiz. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 318-329. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1200941>
- Yaş, H. (2022). Döngüsel kentler ve Türkiye'deki çevre mevzuatının uygunluğu. *Anadolu Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(2), 71-92.

- Yazıcıoğlu, İ. E., & Baştan Töke, L. (2022). Sürdürülebilir kalkınma finansmanı araçlarından yeşil tahvil ve yeşil sukuk üzerine bir değerlendirme. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 14(27), 340-361. <https://doi.org/10.14784/marufacd.1145687>
- Yılmaz Kandır: , & Yakar: (2017). Yeşil tahvil piyasaları: Türkiye’de yeşil tahvil piyasasının geliştirilebilmesi için öneriler. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 159-175.
- Yılmaz, D., & Özen, E. (2021). Dijital dönüşümün makro ekonomik faktörler üzerindeki etkileri: Türkiye ekonomisi örneği. *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi*, 4(2), 183-192.
- Yılmaz, F. (2022). Enerji yönetimi ve Türkiye: Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde bir değerlendirme. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 19-37.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikiz oluşturmada nokta bulutlarına dayalı analiz. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 318-329.
- Yu, Y. B., Zeng, H. Y., & Zhang, M. (2024). Digital transformation for supply chain collaborative innovation and market performance. *European Journal of Innovation Management*.
- Yurgiden, H., & Erdoğan, M. (2024). İkiz dönüşümün sosyal, ekonomik, politik etkileri ve gereksinimleri. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*, 14, 129-140.
- Zatsarinnyy, A. A. (2021). Computing infrastructure for scientific research in a digital transformation. *14th International Symposium on Intelligent Systems*, 186, 59-62.
- Zencirli, M. (2024). Organize sanayi bölgelerinde ikiz dönüşüm. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 8(15), 21-31. <https://doi.org/10.31006/gipad.1448035>
- Zhao, Y. N., & Fang, W. (2023). How does digital transformation affect green innovation performance? Evidence from China. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1-15.
- Zhen, Z., Yousaf, Z., Yasir, M. (2021). Nexus of digital organizational culture, capabilities, organizational readiness, and innovation: Investigation of SMEs operating in the digital economy. *Sustainability*, 13(2), 1-20.
- Zhong: H., Peng, L., & Ma, C. S. (2023). Digital finance and the two-dimensional logic of industrial green transformation: Evidence from green transformation of efficiency and structure. *Journal of Cleaner Production*, 406, 1-15.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şafak Necmi DENİZ

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Adana Başkent Koleji Anadolu Lisesi, 2016

Lisans : Atılım Üniversitesi, 2020

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi